4 生活とサービス領域のロボット化事業について

本章は生活とサービス領域のロボット化事業を取りあげる。

本章では、一般の人たちの普段の生活に密接にかかわる製品やサービスを取り上げ、その製品やサービスを提供する事業の中に「ロボット化」が取り入れられている事業を対象としている。ここでロボットとは、センサ、情報処理、駆動制御といった技術をインテグレーションした知能機械システムのことを指す。ロボット化は、これらのロボット技術を目的に応じて必要なだけ対象となるシステムに組み込むことを指すが、これは本白書が特に重視しているロボットの産業化に際しての視点となる。この視点を重視することは、ロボット産業を、ロボットを作る産業にとどまらず、市場で求められる製品やサービスならびにそれらの事業化のプロセスをロボット化することによって生まれる産業にまで拡張して捉えることを意味している。

ロボット化は、すべての製品やサービス、その事業化プロセスに組み込みうるが、そうすることによって顧客価値が高まったり、新たな顧客価値を生み出したり、事業者にとって生産性を高めることにつながる、すなわち事業性を高めることにつながらなければ意味を持たない。

本章はロボット化事業を成功に導く道しるべとなることを目的としている。そのために、このロボット化によって生み出される事業がこれまでにどのようなビジネスモデルや対象領域においてうまくいきつつあるのか、それらを支える技術が現在どのようなレベルにあるのか、これまでの事業化の試みにどのような課題があり、今後、どのような方向性がありうるのかについて注目すべき研究テーマとともに紹介する。また、新たな産業創出に際して問題となる主な法制度や規格、国の支援策に加え、主要国の動向についても取りあげる。

4.1.項では生活とサービス領域のロボット化産業の事例、法規制や国の支援策、主要国の動向、主な研究・技術について触れている。4.2.項ではこれまでの事業化の試みを通して得られた課題と方向性と注目すべき研究テーマについて取りあげる。

4.1. 主な事業分類と事例

本項では、生活とサービス領域においてロボット化事業を立ち上げ、発展させていくうえで参考になると考えられる事例を紹介する。ロボット化事業の立ち上げを検討する際には特に重要となる2つの視点から事例を分類する。その2つの視点とは、どのようなビジネスモデルをとるかという視点とターゲットとなる中心的な顧客が誰で、どのようなベネフィットを提供するのかという視点である。前者については4つのタイプで分類している。後者についてはセグメンテーションの取り方によって非常に細かな分類になることを避けるため、ここでは厳密さ

を犠牲にして用途という観点から分類を行っており、また特殊な用途や小さな市場規模の用途については取り上げていない。

両者は以下のとおりで、主な事業事例がある分類について、事例の紹介ならびにその事業分類の現状について紹介する。

（1）ビジネスモデルによる分類

以下の4つのビジネスモデルあるいはビジネスアプローチが重要である。

① 既存製品をロボット化した製品の開発・販売事業。自動車、家電、介護・福祉機器などすでに市場を形成している製品にロボット技術が組み込まれることにより、従来にない顧客価値をもつハードウェア製品の開発、製造、販売事業。すでにその製品分類の概念は市場で認知されており、対象顧客の想定や顧客の要望はある程度明確である。

② サービスプロセスのロボット化によるサービスイノベーション事業。ロボット技術を組み込むことによって、サービスプロセスをリエンジニアリングし、生産効率を劇的に高めたり、新たな顧客価値を提供したりするサービス事業を創出する事業。顧客に提供されるプロダクトはハードウェアではなくサービスとなる。

③ ロボット技術を活用したトータルソリューション事業。ロボット技術の活用により、個々の顧客の課題に対する最適なソリューションや顧客価値を最大化するプロダクトの組み合わせを提供する事業で、提供するプロダクトはハードウェア、ソフトウェア、コンテンツ、サービスといったホールプロダクトの形態となる。

④ サービスロボット開発・販売事業。従来の技術では困難であった機能を持つ既存製品にはないカテゴリのハードウェア製品の開発、製造、販売事業。

（2）用途による分類

以下の9つの用途あるいはターゲット市場に参考となる事例がある。①日常生活、②エンターテインメント／コミュニケーション、③生活福祉、④教育、⑤医療、⑥施設・オフィス（清掃、警備、会議）、⑦ホテル・外食、⑧移動（モビリティ）、⑨都市空間（広告、公共、流通、物流）。

4.1.1. 病院のロボット化

医療ロボットは大きくメディカルロボットとコメディカルロボットに分類される。

（1）メディカルロボット

メディカルロボットは、米国で先導して実用化が始まっており、手術ロボットは米国インテュイティヴ・サージカル社が開発したマスタースレイブ型内視鏡下手術用da Vinci（ダ・ヴィンチ）が有名であり、世界的な広がりを見せている。

手術ロボット以外のメディカルロボットとしては、医師の代理ロボットがある。代表例としては掃除ロボットを開発したiRobot社のRP-VITAがあげられる。

RP-VITAはiPadなどの携帯端末等を利用して遠隔コントロールされ、カメラや各種センサが実装されている。リアルタイムでの心電図やPACS（Picture Archiving and Communication Systems）と呼ばれる画像保存通信システム等とも連携している。液晶ディスプレイに医師の顔が映され、遠隔での患者との往診・診断が可能である。

iRobot社以外ではジョージア州のGecko Systems社も同様のシステム開発を行っている。

（2）コメディカルロボット

コメディカル業務の生産性向上は医療費削減、外来患者の待ち時間の短縮等によるQOL向上につながる。

病院におけるコメディカル業務は複雑であり、ロボットによる単なる人の作業のロボットへの置き換えだけでは十分な効果が見込めない。経営コンサルティングの視点が必要である。そのためには病院経営収支改善、患者のQOL向上に関するKPI（Key Performance Indicator）の設定と各々のKPIが全体に及ぼす影響と改善目標値、及び改善施策の設定が必要となる（バランススコアカードの作成）。

KPIとして想定される指標は、人生産性、設備稼働率、在庫金額、薬品廃棄等の経営ロスコスト、外来患者の待ち時間等があげられる。

バランススコアカードを作成するためには、病院内業務分析が必要となり、病院内の人・モノ・情報の流れを計測・分析する事によってなされる。

参考までに、（図4-1）に病院の経営改善のためのバランススコアカードの事例を示す。

業務分析とバランススコアカード作成により、見えてくる病院コメディカル業務全体においてボトルネックになっているプロセスや特に全体に影響を与え

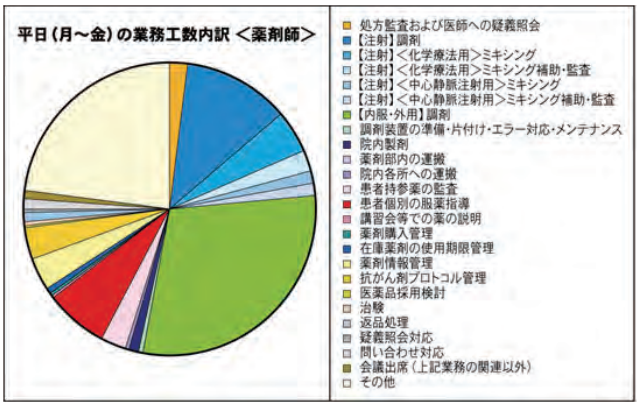
図4-1　病院の経営改善のためのバランススコアカードの事例

ているプロセスに関し、改善施策を設定する。

その改善施策としてロボットに従来作業から置き換える事により、全体的にどのような改善効果があるかシミュレーションを行い、ROI（Return Of Investment）の視点からロボット導入の是非を決定して行く。即ちロボット導入の前の経営コンサル・業務コンサルの実施が特にコメディカル分野における病院まるごとロボット化の鍵になる。

参考までに、（図4-2）に薬剤部での業務分析結果の事例を示す。

図4-2　薬剤部での業務分析の事例



前述の通り、人・モノ・情報の流れの計測・分析が必要であるが、概略を言えば、

- モノの流れの改善
  → 主にロボット技術の導入 ＋ IT技術
- 情報の流れの改善
  → 主にIT技術 ＋ ロボット技術
- 人の流れの改善
  → モノの流れ＋情報の流れ改善の相乗効果

ロボット技術にもっとも関係するモノの流れに関して考察してみる。病院の中でもっとも重要なモノの流れと言えば、まずは薬剤があげられる。

トヨタ自動車の“カンバン方式”に代表されるように工程分析による工程改善は日本のお家芸であり、製造業においてはその概念・活動は浸透している。

カンバン方式の根源にある思想は“オンデマンド”である。“オンデマンド”を実現するには小ロット搬送とプロセスの流れに応じたレイアウト変更が必要となる。

製造工場においては、ある程度同じモデルの商品が大量に流れてくるが、病院においては1,000種類以上の薬品が少量だけ頻繁に定期・不定期に搬送されるため、病院における小ロット搬送の課題は工場での搬送よりもより切実である。

小ロット搬送を全て人間が行うと大幅に工数が増えるので、人間に代わって小ロットオンデマンド搬送が可能な搬送ロボットが病院内のコメディカル業務において求められる。

搬送用ロボットとしてはライントレース式AGV（Automatic Guided Vehicle：無人搬送機）と呼ばれるロボットが従来から存在している。主に廊下に磁気センサを埋め込む方式、反射テープを貼り付ける方式などが存在し、病院内搬送用AGVとしては海外ではswisslog社が有名である。

一方、病院の場合、工場と異なり、搬送ポイントの組合せが無数にあり、レイアウト変更等があった場合に、従来のライントレース式のAGVでは対応が出来ないので、自律移動式の搬送ロボットが必要となる。

病院内の自律移動式の搬送ロボットは海外では米国Aethon社やVECNA社、国内ではパナソニックが事業展開し、村田機械が実証研究を実施している。

搬送以外で病院内のコメディアカル業務のボトルネックになっている工程に注射薬混合がある。特に抗がん剤の混合工程は、抗がん剤自体が人体に影響を与える物質であるので、人手ではなく、ロボットによる無人での混合作業が望ましい。また、注射薬は人体に直接投入されるため無菌に近い状態での混合作業が求められ、極力人の手を介さないことが望ましく、その理由からも人ではなく、ロボットによる注射薬混合が望ましい。

現在、がんは日本人の死因の第一位になっており、がんによる医療費増大が予想されるため、医療費抑制のために外来による抗がん剤による化学療法の推進が検討されているが、そのためには、ロボットによる抗がん剤の混合・調剤が必要となる。

抗がん剤の混合ロボットの開発・導入は海外勢が先行しており、代表的なロボットとしては、カナダのRIVA社やイタリア・ヘルスロボティクス社のサイトケアがあげられる。

抗がん剤投与においては投入量を精密に計測する必要があるが、当該工程をロボット化すれば、精密計測に関しても大きな進展が見込まれる。

このような病院内における薬剤（調剤業務）がクラウドと連携したロボット化が進展すれば、病院と連携した在宅医療へ発展する可能性を秘めている。

（図4-3）にパナソニックが考える薬剤の流れを中心にした病院まるごとロボットを起点とした在宅医療支援構想図を参考までに示す。

次に（図4-4）に中堅病院におけるコスト分析例の図を示す。病院スタッフ構成は看護師がもっと

図4-3　パナソニックが考える薬剤の流れを中心にした病院まるごとロボットを起点とした在宅医療支援

（出典：パナソニック
http://panasonic.co.jp/ism/robot/robot02.html）

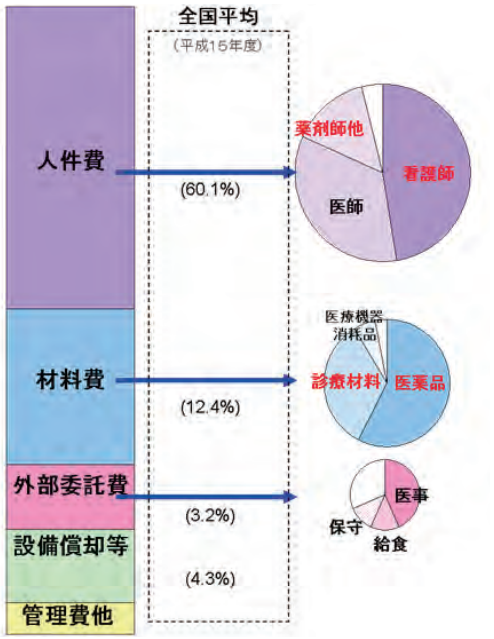
も多く、この病院では人件費構成の一位を占めている事がこの図から分かる。

大阪大学大学院　医学系研究科　保健学専攻の大野ゆう子教授らのグループは看護師のタイムスタディによる看護師業務の見える化、効率化に取り組んでいる。

一方、看護師業務は専門職であるとともに、看護師は人の命を預かっており、患者に対するホスピタリティに最も影響力のある職種であるために、単純な合理化は出来ない。

看護師はもともと不足気味であり、医学・看護学・工学連携によるロボット技術活用による看護師の負担軽減と患者に対するQOL向上の両立化が今後の課題である。

図4-4　中堅病院におけるコスト分析例



コラム 4-1

～人をつなぐロボット技術 ー医療・介護福祉現場においてー～

最近、にわかに医療・福祉介護分野においてロボット技術が注目されるようになった。日本は産業用ロボット大国としてまさに王者として世界に君臨してきた。しかしながら、世の中も絶えず動いており、世界中でロボット技術が進歩するなか、新興諸国の台頭により産業用ロボット大国としての地位も転換期を迎えざるをえなくなったと言っても過言ではない。そこで、日本は次世代の国家成長戦略として医療・福祉介護分野へのロボット技術の応用を重視した方針を打ち出した。まさに、ロボット技術が人間と社会を支える仕組みを目指したものであり、将来を見据えた素晴らしい方策である。しかし、高齢者や障がい者の方々、さらには医療・介護福祉従事者に恩恵を与えるために、ロボット技術に何を求めればよいかについての議論はまだ発展途上と言ってもよい。まず何と

言っても現場の役に立つロボットを作り出すことが必要である。ハード面でのロボット技術だけが先行し、ロボット開発が必ずしも医療・福祉介護現場のニーズを反映していないように思われる。ロボットがこの分野で真に必要な良きパートナーとして存在するためには、ロボット技術者と医療・福祉介護現場のスタッフが十分に協議を重ね、ニーズを明確にした上で開発に取りかかるといった段取りがなくてはならない。その結果、役立つものが出来上がったとしても、それらを安全に現場で適用・活用していくための基準作りと検証が必要となる。今ようやく、その目的を達成するための入り口に立ったというのが正しい認識であろうと思う。近い将来、間違いなく医療・福祉介護分野においてロボット技術は我々人間や社会に不可欠なパートナー的存在となるだろう。これからがまさに正念場と言っても過言ではない。そのためには解決しなければならない課題がいくつかある。例えばその一つとして、現場の役に立つものが開発されたとしても、その商品化がビジネスを維持するには不可能であった場合どうするのか。高齢者や障がい者の方々の機能障がいの病態は様々で、必ずしも役立つものの開発が量産化に結びつかない場合もあり、ビジネスとして成り立つわけではない。そのようなことにも意識を向ける姿勢を我々一人ひとりが持つことが、ロボットが本当の意味で我々のパートナーとして社会に普及するために必要ではないのだろうか。

陳 隆明（社会福祉法人兵庫県社会福祉事業団　兵庫県立リハビリテーション中央病院）

コラム 4-2

～福祉用具メーカーから見るロボット～

（株）カワムラサイクルは神戸に本社を持つ車いすメーカーである。もともとは自転車メーカーであったが、阪神淡路大震災より神戸市の復興支援を受け、車いすメーカーに生まれ変わった。車いすは高齢者や障害をお持ちの方の移動支援の道具として、体の一部として使われており、常に安全安心をモットーに物づくりをしている。

車いすの中には電動カートや電動車いすのように手や体の一部を使い動かす物もある。ただ、身体機能を維持発展するにはそぐわない面もある。ある家電メーカーとのコラボでアシスト歩行器の開発を行っている中で、身体機能を維持しつつ、利用者がこの機器を使う事でより外に出る気が起き、生活範囲が広がる事の大切さを痛感した。さらに、センサを取り入れる事でより安全安心を提供できるものになると考えている。

また、日本の家電メーカーがこんなに多くの最先端技術を有しているのかを思い知らされた。これらの技術を世に普及できれば人々の生活をより豊かにできるであろう。我々福祉用具メーカーもその一助になれれば幸いと思う。

伊藤 正明（株式会社カワムラサイクル）

コラム 4-3

～【ロボット介護機器開発・導入促進事業〈開発補助事業〉（基準策定・評価事業）】の概要～

経済産業省ロボット介護機器開発･導入促進事業の平成25年度採択事業は47事業（移乗支援装着型4、移乗支援非装着型7、移動支援9、排泄支援5、見守り支援22）である。そのうち福祉用具関連事業者は11社、新たに福祉分野に参入した事業者は36社であり、超高齢社会でのロボット産業開花に期待する産業界の想いが垣間見える。移動、見守り分野での開発機器の一部は平成26年度中の福祉施設でのプロトタイプ等の持込実証も予定されている。

併行して、ロボット介護機器開発における安全基準策定・評価事業についても、研究機関等関係機関がコンソーシアム体制にて、順次作業が進められている。

【開発事業参入企業の傾向】

開発補助事業において各分野に参入している企業に共通して見られる課題は、開発しようとする機器の開発コンセプトを如何に明確化するかに集約されている。不確かさの多くは、事業者が福祉分野で使われている用語（例えば「自立する」、「移乗する」等）の意味するところの認識・理解不足やずれからきているように思える。使われる場面を想定する場合、その機器を使うことにより、どのような変化を及ぼすか。その変化の状態を意味する用語などがこれにあたる。その変化が利用者または利用者の周辺の状況を変容させることにより、生活の質の向上に寄与するものでなければならない。

生活支援機器の開発は、『「シーズ」ありきでなく、「ニーズ」ありきといわれる』所以である視点を再度見直す必要もありかといえる。

図表　平成25年度　経済産業省ロボット介護機器開発・導入促進事業（開発補助事業）

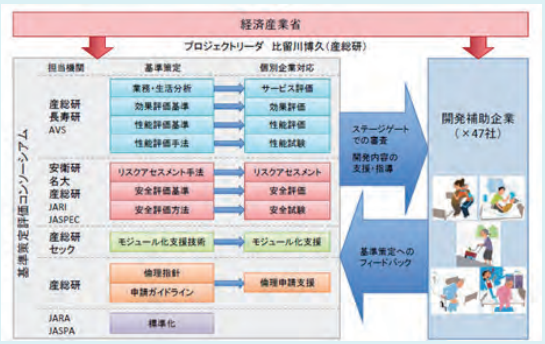
ロボット介護機器開発・導入促進事業の実施期間は、平成２５年度から平成２９年度とする。ただし、開発補助事業の期間は３年以内とし、重点分野毎の開始・終了年度は以下とする。なお、各年度末のステージゲート審査会の審査・評価の結果は、平成２６年度に開発補助事業を継続する場合において、考慮される。

重点分野	開始年度	終了年度
移乗介助：ロボット技術を用いて介助者のパワーアシストを行う装着型の機器	平成２５年度	平成２７年度
移乗介助：ロボット技術を用いて介助者による抱え上げ動作のパワーアシストを行う非装着型の機器	平成２５年度	平成２７年度
移動支援：高齢者等の外出をサポートし、荷物等を安全に運搬できるロボット技術を用いた歩行支援機器	平成２５年度	平成２６年度
排泄支援：排泄物の処理にロボット技術を用いた設置位置の調整可能なトイレ	平成２５年度	平成２７年度
認知症の方の見守り：介護施設において使用する、センサーや外部通信機能を備えたロボット技術を用いた機器のプラットフォーム	平成２５年度	平成２６年度

基準策定・評価事業は平成２５年度から５年間実施するが、各重点分野の開発補助事業終了時に、その分野における事業内容を完了させる。

（出典：経済産業省）

図表　ロボット介護機器開発・導入促進事業　実施体制　（基準策定評価・開発）



（出典：経済産業省）

伊藤 健三（株式会社ニチイ学館）

4.1.2. 家庭におけるロボット化

（1）掃除ロボット「ルンバ」

現在、家庭の中で普及しているロボットと言えば、掃除ロボットが思い浮かぶ。掃除ロボット「ルンバ」を開発した米iRobot社は、1990年にMITの人工知能の研究者（ロドニー・ブルックス、ヘレン・グレイナー、コリン・アングル）によって設立されたロボット専業メーカであり、NASA、DARPA等の国家プロジェクトで探査ロボット（Genghis 1991年）や多目的作業ロボット（Urbie 1997年）などを開発し、2002年に家庭用自動掃除機「Roomba」を発売した。日本では、2004年にセールス・オンデマンド社が発売を開始したが、直ぐには普及せず、10年後の2012年ごろに本格的に市場が立ち上がった。米国では、このようにベンチャー企業が、国家プロジェクトで開発した技術の民間展開を長期に渡って継続できる環境にあることが、日本との大きな違いと思われる。

米iRobot社は世界40カ国以上で掃除ロボット「Roomba」（図4-5）を展開している。日本では、「Roomba」が2013年にロボット掃除機としては初めて100万台を突破した。

米iRobot社は、「ロボット研究における、新しい創造の可能性を開拓すること」を目的にロボット開発応援プロジェクトを実施している。このプロジェクトでは、「Roomba」をプラットフォームとして使用し、参加した研究者は本来の研究課題に集中できるようにしている。ソフトウェアの開発環境はROS（Robot Operating System）を推奨しており、有益な情報や意見交換のためのコミュニティサイトを使って、世界的に研究成果を共有することができる体制を整えている。

図4-5　Roomba 780

（出典：米iRobot社
http://www.irobot-jp.com/product/index.html）

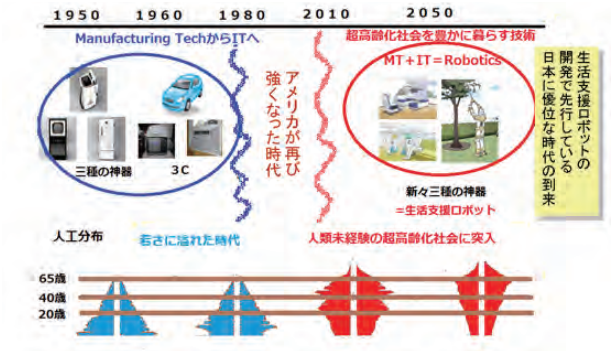
（2）スマートハウス

（図4-6）に示す通り、高度成長期である1950年代において、日本の家電市場はテレビ、冷蔵庫、洗濯機は三種の神器と呼ばれ、庶民の憧れの的であった。

三種の神器は、生活を便利にするための必需品であったが、さらに1960年代になると人々の生活に余裕が出来始めカラーTV、車、エアコンのいわゆる3Cが市場を賑わせることになり、家電業界、自動車業界は急成長を遂げる。

この急成長の背景には高度成長期においては人口構成が綺麗なピラミッド状になっており、特に若者の人口が急増し、都市化進展に伴う核家族化もともない、家電製品、自動車製品の需要が急速に高まった事もあげられる。

図4-6　三種の神器から3Cそして新々三種の神器へ



やがて成熟期を迎え家電市場は一旦飽和したが、マイコン搭載による家電製品の付加価値向上による製品単価UPにより、市場が再び嵩上げされた。

しかし、超高齢社会を迎えるにあたり日本市場そのものが成熟し、メガコンペティションの進行により、海外家電市場においても日本勢は苦戦を強いられることになっている。

また、家電製品はコモディティ化が激しく、高付加価値ビジネスへの転地をめざし、各社がB2CビジネスからB2Bビジネスへの転換にトライし始めたという要因もある。

そこで新たな動きとして次のようにロボット技術の応用、ネットワーク家電の試み、及びスマートハウスの出現と言った現象が生じた。

① ロボット技術を家電製品に実装し、家電製品の付加価値と単価をUP
② ネットワークによる家電製品連携による顧客価値の向上（ネットワーク家電）
③ さらに建物と家電製品との連携による省エネ実現（スマートハウス）

①に関しては、日本にもお掃除ロボットエアコンのようにロボット技術を活用した家電製品の顧客付加価値向上の発想はある事はあったが、安全に対する過剰な反応から、掃除ロボットもR＆Dベースでは開発が進められてきたが、商品化はなかなか出来なかった。
そのような日本勢の動きの間隙を縫って登場してきたのが、iRobot社によるお掃除ロボットルンバであった。

②に関しては、ネットワークによる家電製品連携に関する提案・構想は過去から、多くあったが、なかなか実現されなかった。

その最大の理由は、家電製品をネットワークで連携するためには、ホームサーバーが必要とされたことであると考える。

パーソナルコンピューターが一般家庭に普及し始めていたので、パーソナルコンピューターをホームサーバーとして活用する案等もあったが、一般家庭にホームサーバーを普及させるためには、やはりユーザビリティが重要であり、パーソナルコンピューターはユーザビリティの点で課題が大であった。

ホームサーバーだけではなく、ネットワークに接続するためには、連携される家電製品側もネットワーク対応する必要があり（ネットレディ家電）その事が家電製品のコストアップ要因となるので、ネットワーク家電普及の障害になってきた。

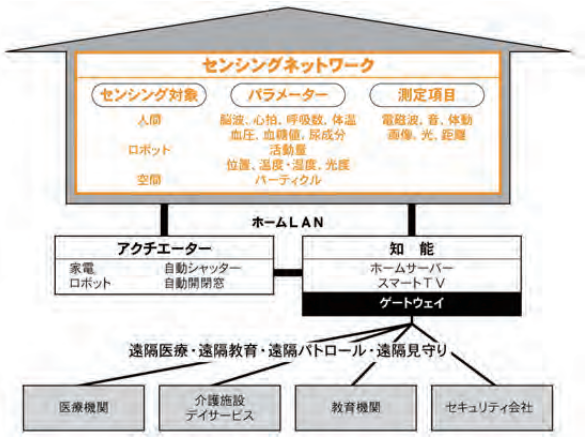
しかし最近になって環境変化があった。それはスマートフォンの普及である、家電製品がスマートフォンを介して、クラウド上に繋がる事により、ホームサーバーは不要となるとともに、クラウドで、センター処理を行う事により、家電連携によって提供可能な家電メーカのみならず、第三者によるサービスの幅が大幅に広がるとともに、サービスコストの大幅な低下が期待できる。

宣伝広告等のビジネスモデルと連携させれば、これらのサービスはフリー化を目指した動きになるものと思われ、これらのサービスに対しユーザの支持が多く集まれば、ネットワーク家電の普及は加速するものと思われる

③スマートハウスに関しては、参入企業が相次いだが、エネルギー節約だけでは高価なスマートハウスはなかなか売れないために、スマートハウスにおいてエネルギーマネジメント以外のロボット技術も活用した新たな付加価値の創出が求められる。

（図4-7）にスマートハウスにおいてエネルギーマネジメント以外のロボット技術も活用した新たな付加価値の創出アイデア事例を示す。

図4-7　スマートハウスにおいてエネルギーマネジメント以外のロボット技術も活用した新たな付加価値の創出アイデア事例



教育やセキュリティに加え、特にヘルスケアや介護見守り機能のスマートハウスへの機能追加が注目されている。

ヘルスケア分野が注目されている理由にリーマンショックがある。リーマンショックにおいても医療、農業等の人の生存に関わるソーシャルビジネスはあまり影響を受けず、世界的な高齢化の進展と人口増により、今後とも継続的な成長が見込まれる事も注目されている要因としてあげられる。

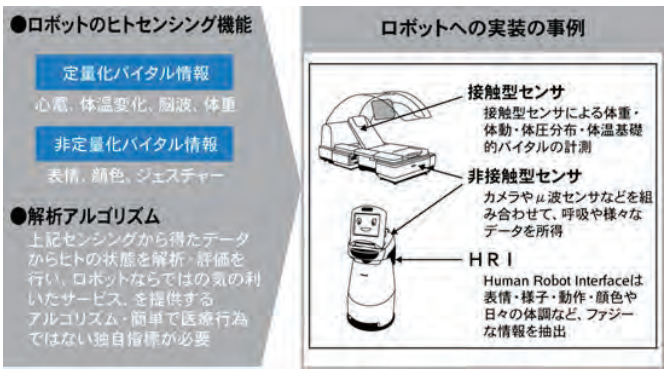
また、スマートハウスがこれらの新たな機能を追加するためには、病院や介護施設、教育機関、セキュリティ会社といった外部機関が、当該ビジネスに参入し、スマートハウス提供会社と連携する事が必要となる。

新たな付加価値として特に期待されているのがヘルスケアであるが、ヘルスケア機能を実装するには、バイタルセンシング技術が重要となる。

バイタルセンシングは生活支援ロボットに実装すれば、ユーザへの利便性は高まる。

（図4-8）に生活支援ロボットへのバイタルセンシングの実装の事例を示す。医療費・介護費の増大による財政危機も在宅医療・介護を後押ししている。

図4-8　生活支援ロボットへのバイタルセンシングの実装の事例



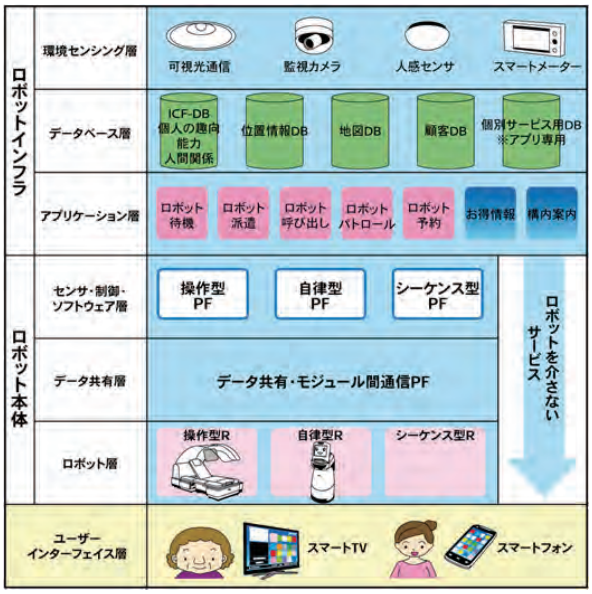
このような生活支援ロボットにバイタルセンシングを実装することに加えて、高齢者の身体能力障害に対する機能サポート、感覚障害に対する機能サポート、記憶・言語障害に対する機能サポートが低コストで実現し、将来は生活支援ロボットを新々三種の神器として、将来の主要産業化されることが期待される。

(3)　ロボット参照モデルの提言

なお、生活支援ロボットに関しては、ロボット単独ではなくシステムの中で、他の機器やサービスと連携しないと、ロボットによるユーザ価値が発揮出来ないことは認識されつつある事象であるが、そのためには通信業界におけるOSI参照モデルと同様に、ロボット技術の参照モデルを設定し、ロボット技術の参照モデルにより、各層別に、標準化を推進して行く必要があるものと思われる。（図4-9）にロボット参照モデルの提案事例を示す。

生活支援ロボットは生活や家庭に密着している製品・サービスであり、（図4-9）に示すとおり、環境センシング層や、ユーザインタフェース層には、既存のネットワーク化対応された家電製品が組み込まれれば、経済性からも生活支援ロボットが普及するトリガーとなることであろう。

図4-9　ロボット参照モデルの提案事例



4.1.3.　オフィスのロボット化

オフィスの生産性を向上させるため、オフィスのロボット化が進められている。オフィス用途の例として、テレプレゼンスロボットがある。テレプレゼンスロボットとは、離れた場所にいる人が、インターネット経由でロボットを操作し、高品質な音声や高解像度の映像により、遠隔地でもその場で対面やコミュニケーションをしているかのような臨場感を提供するシステムで、「代理ロボ」や「PC on Wheels」とも言われている。例えば、ビジネスでは、遠隔地における会議、現地視察、工場の監視等に利用することが考えられている。医療・福祉分野では、医師が遠隔地にいても患者の様子を診断したり、病院内を動きまわったりすることができる。また、高齢者などコミュニケーションの不足による社会的孤立が課題としてあげられており、その対策として、テレプレゼンスロボットによるコミュニケーションが試みられている。

（1）テレプレゼンスロボットの研究開発

米iRobot社では、医療向けにテレプレゼンスロボットを開発・販売する米南カリフォルニアのベンチャーIn Touch Health社と提携し、医療現場を対象とした、移動型テレプレゼンスロボット「RP-VITA」を開発した。「RP-VITA」は、移動型テレプレゼンスロボットとして初めて米国食品医薬品局（FDA）の認証を取得（2013年1月）した。FDAのミッションは、「①医薬品・医療機器・化粧品等の安全性・有効性を確保することで米国民の健康福祉を保護する、②医薬品・食品の有効性・安全性等を高めるイノベーションの促進の援助、並びに、健康増進

のために医薬品・食品を利用する際に米国民が科学的根拠に基づいた正確な情報を入手することを援助することによって米国民の健康福祉を増進させる」ことであり、医療機器を米国に輸出するときはFDAの認証が必要である。FDA認証製品となったことで、製品の安全性・適格性が確保され、輸出入の際の課題を一つクリアしたといえる。さらに、米iRobot社では、企業向けのテレプレゼンスロボット「Ava 500」を2014年から販売を始めた。

（2）テレプレゼンスロボットがもたらす未来社会

テレプレゼンスロボットとクラウドを融合することで、テレプレゼンスロボットを安く、賢く、軽くすることができるとともに操作する人の判断や知見を組み合わせ、オフィス、家庭、地域社会の見守り、病院・福祉施設・トレーニング施設等と連携し、健康管理、個人データ（健康管理情報等）と連動したショッピング、旅行の疑似体験、人と物のスマートな移動を実現する交通や物流の自律的なITS化など、ネットワークコミュニケーションによる仮想空間（テレプレゼンスロボット）と実空間（人）が一体となった社会を形成する可能性がある。

コラム 4-4

～オフィスビル清掃システム事業について～

ビル清掃システム（以下「本システム」）は大規模オフィスビルのエレベーターホールや廊下等（以下「共用部分」）の清掃を自律走行ロボットにより自動化しており、2001年の実用化から13年を経過した現在まで、重大な事故や故障なく、安定運用されている非常に信頼性の高いシステムである。この自律走行ロボット（以下「清掃ロボット」）は走行制御系と塵芥吸引系のシステムから構成されており、これらのシステムは赤外線通信、ジャイロ制御や紙パック方式の塵芥吸引等の汎用性と信頼性が高い既往技術で構成されており、ロボットの長期安定稼働を実現している。

清掃ロボットの実用化に向けては、労働集約的な清掃業界に通用する事業性の確保が必須であり、状況整理と課題抽出にはビルメンテナンス会社（サービスプロバイダー）の助言が貢献した。事業性のポイントとして安全性、コスト及び操作性が抽出されたが、清掃ロボットを夜間運転とすること、コストパフォーマンスに見合わない技術の採用を見送ったこと、不足部分を人がバックアップすることで多くの課題を解決できた。

現在、ビル清掃システム事業（以下「本事業」）は適用領域が大規模オフィスビルの共用部分の夜間に限定されており、今後、本事業拡大には本システムの汎用性の向上が重要である。具体的には技術革新を通じた安全性と操作性の向上によるロボットの運用時間帯とオフィス専用部分を含めた場所の拡大、リース等の活用による利用課金型の料金体系の開発が必要と認識している。特に、画像認識に関する技術革新は、1.ロボットに走行経路を入力する専門作業員を不要にし、2.ロボットの自律走行に必要なビル側の環境整備の負担軽減、3.人や障害物への衝突回避性能の向上を可能にするものとして期待が大きい。

今後､事業化されるロボットシステムには事業支援型と価値創造型があると想定でき、前者は既往事業の品質向上とコストセーブを目指し、後者はロボットシステムだけに実現可能な新たな事業領域の開拓を目指すものである。ビル清掃システム事業は前者であり、労働集約型産業においてロボットシステムを事業化したケースである。事業に精通したサービスプロバイダーとメーカの協力体制が不可欠であると同時に、労働集約型産業の業界は一般に保守的な傾向もあり、安全基準の整備等を通じてロボット運用者に対する責任範囲の明確化によりロボット化という新しいシステム導入に対する経営者の抵抗感を払底することが重要になる。

最後に、あるメーカ技術者の言葉を引用して締めくくりたい。「基礎技術と事業化の間に広がる千尋の谷を越えることが容易でないのはロボットシステムに限ったことではなく、多くの挑戦から僅かな成功しか生まれない。」こうした挑戦または再挑戦を特に経済的に支援する制度整備を国に望むところである。

櫻内 昌雄（住友商事株式会社　ビル事業部）

4.1.4. 移動のロボット化

（1）セグウェイ

A）はじめに

米国の発明家ディーン・カーメンによって発明され、2001年の発表では「世紀の発明」とも言われたコードネーム「ジンジャー」は、米国の法人であるセグウェイ社の設立とともに、「セグウェイ」（図4-10）と言う商品として市場に投入される。2013年12月現在で全世界におよそ10万台が存在し、北米と欧州を中心に利用シーンを増やしている。

図4-10　セグウェイ

B）海外の状況

欧米を中心にセグウェイの公道での走行を認める国が増えてきている。米国では、9割以上の州で歩道での走行を認めており、欧州では英国を除くほぼ主要な国で歩道及び自転車道での走行を認めている。

米国の例では、州毎にEPAMD（Electric Personal Assistive Mobility Device）なる新たなカテゴリを設けている。

主な使用用途は「警備」や「ガイドツアー」である。市街地のパトロールにセグウェイを利用する評価実験以降、周囲からの視認性とコミュニケーション量が増加したことから来る犯罪抑止力への評価と警察官のモチベーション維持に大きく貢献したと言われており、各地の警察で導入が進んでいる。ツアー分野では、全世界で800カ所以上のツアー運営箇所が存在し、この数年で成長の著しい分野である。

コラム 4-5

～スマートモビリティとITS～

高齢社会に対応した便利な移動手段や、低炭素社会に不可欠な効率的な移動手段などとして、様々なモビリティ技術が開発されており、IT等を活用した事故回避や緊急時対応、バリアフリー化などの交通弱者への便利で快適な移動など、安全・安心でスマートな交通社会の実現が、現代社会において取組むべき重要な課題となっている 。このような状況下、個々の移動手段としてだけでなく、都市設計やまちづくり等においても、様々なスマートモビリティ技術は、交通インフラの高度化を目指すITS技術（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）とも相俟って、その期待が高まっている。政府においても、「科学技術イノベーション総合戦略」（平成25年6月閣議決定）や、「日本再興戦略-JAPAN is BACK-」（平成25年6月閣議決定）に加えて、各種の検討会、勉強会等が開催されており、政策的方向性を打ち出すとともに、各種の国家プロジェクトが実施され、産業競争力懇談会等における提言や産業界でも様々な技術開発等が行われている[1]。

このような社会的背景を踏まえ、よりパーソナルなモビリティとしてSegwayやWingletに代表される一人乗りのモビリティロボットが注目されている。これらの移動手段は、歩行者と自動車やバイクなどの従来の移動体との間を補完する移動機器であり、すでにSegwayは各国で販売され、警備や観光地の移動ツールとして利用されている。さらに小型自動運転EVとしてトヨタSmart INSECTやシボレーEN-V等も精力的に開発されている。

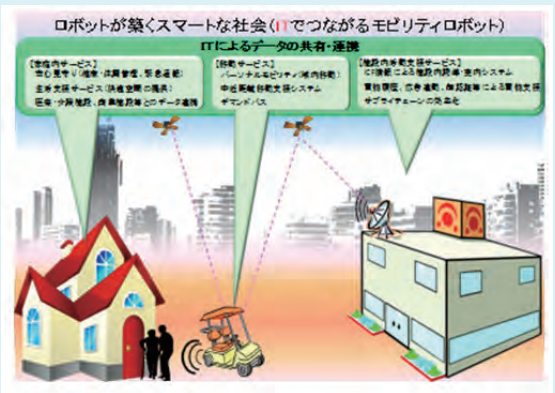
一人乗りのモビリティロボットは、Segwayの他に日本では自動車メーカを中心に開発がなされており、代表的なものとしてトヨタ自動車のWingletやi-REAL、ホンダのU3-XやUNI-CUBなどがある。中国でもモビリティロボットが盛んに開発されており、一部はすでに空港警備に導入されている 。

これらのパーソナルモビリティロボットの特徴として、倒立二輪型のように一段高い場所から「周囲を見渡して走る」ことによる快適で素早い移動を提供するもの（Segway、Winglet等）、ハンズフリーの（両手が空いている）状態で「腰掛けて走る」もの、まるで身につけるかのように「着て走る」もの（i-REAL、i-SWING、i-UNIT等）がある。そしてこれらの共通的、かつ最大の特徴は、周囲の情報通信環境とも連携し、日常的な移動から、観光やショッピング、安全管理や見守り、福祉利用等に至るまで様々なサービスの提供手段にもなりうることである。いわば、これまでの自動車が「化石燃料」で走り、電気自動車が「電気」で走るのと比較すると、モビリティロボットは「情

報」で走ると言っても過言ではない。さらに、各地域でシェアリングシステムを構築することによって、ショッピングや観光、見守りシステムなどと連携した地域内移動や都市設計など、「地域や社会のスマート化」を実現可能なことも大きな特徴である。

今後のスマートモビリティは、その製造・販売だけではなく、ITSの一翼を担うことによって、周囲の環境と連携した事故の予防・回避、緊急時対応などの安全・安心に貢献したり、渋滞回避や隊列走行によって省エネに貢献したり、様々な情報やビッグデータを使ってスマートな移動や物流サービスを提供したりする「ものごとづくり」ビジネスが可能になると考えられる。また、世界的な都市化の動きとともにスマートな移動や物流システムを組み込んだ総合的でグローバルな都市空間のプロデューサーが、交通・物流、不動産、情報通信、エネルギー、医療、防災等の様々な業種を超えた総合サービスの提供業者となり、ビジネスの中心となることも考えられる。スマートモビリティ自身もよりパーソナル化されれば、「着るスマホ」「ウェアラブルな乗り物」に進化するかもしれない。

特にロボット技術に代表される自動化技術は、究極の安全技術として、交通事故を大幅に削減したり、交通弱者の社会活動への参加を促したり、都市集中と地域格差を解消したりすることなどが期待され、交通社会、交通ビジネス、まちづくりや都市空間設計などを根底から変革する可能性もある。スマートモビリティとITSは、来るべき未来社会において、事故の無い安全・安心社会で知能化された社会の構築に大きく貢献すると考えられる。



参考文献

[1] 例えば、国土交通省で「オートパイロットシステムに関する検討会」が開催されている。NEDOでは「エネルギーITS推進プロジェクト」「IT融合プロジェクト」等が実施され、26年度から経済産業省で「次世代高度運転支援システム研究開発・実証プロジェクト」が開始されている。

真野 敦史（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）

C）我が国の状況

2006年頃から本格的な展開が行われ、法人のみを対象に警備やツアー、ゴルフ場での利用が主要な市場となっている。保険の加入義務化、独自の講習制度を設ける等、安全に配慮した日本独自のビジネスモデルをとっている。2010年1月内閣府がつくば市の特区提案を認定、その後2011年3月に「搭乗型移動支援ロボット公道実証実験特区（ロボット特区）」の実際の特区を認定、初めての市街地での「通勤」「パトロール」「ツアー」等の実験が行われている（図4-11）。

同実験を通して得られた情報を他の自治体ともシェアすることを目的として協議会を設置し、全国への展開を推進している。

図4-11　セグウェイによるガイドツアー

コラム 4-6

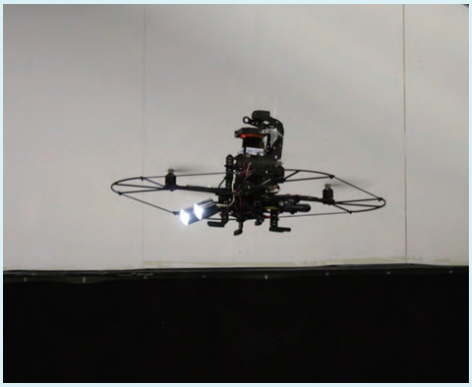
～サービスロボットの導入による先進的な警備サービス事業について～

セコムはわが国初の警備会社として半世紀以上警備サービスを展開してきた。セコムが重要視するのは、お客様が心底安心して仕事や生活ができるサービスの提供であり、その実現にはお客様を徹底的に理解・共感することと、お客様に常に最高の品質で応えるプロであることが必要となる。そのためセコムは、お客様の仕事の特徴や犯罪者の手口、サービス提供のプロセスを分解・分析して考え、サービス品質の向上に寄与する最先端技術を研究・開発し、導入し続けてきた。

例えばセコムのオンラインセキュリティシステムは、従来の人手による警備サービスを分析することで、異常監視や情報伝達・管理といったプロセスを機械に置き換え、判断力や機動力、処置力といった人間でなければできないことに人間が注力できるよう開発された。これによりサービス提供に関わる人間が10倍、100倍の力を発揮できるようになり、より多くのお客様にとって適切な価格での安全の提供を実現した。

先般、民間防犯用としては世界初となる自律型の小型飛行監視ロボット（**図表1**）を報道発表し、社会の関心を集めた。この小型飛行監視ロボットは、警備のプロセスで特に重要となる初動を徹底解析し、自動化したサービスロボットである。初動では犯人や車両等の情報をどれだけ多く集められるかが鍵となる。そのため、敷地内への不審な人や車の侵入時には、適切な位置・方向からその特徴を含む証拠性の高い画像を撮影し（**図表2**）、さらに追跡により逃走した方向も捉える機能を備えている。実現にあたり、セコムが遠隔での画像監視や屋外の侵入監視などで培ってきた画像処理技術やセンシング技術、人物や車両の追跡技術などが応用されている。

図表1　小型飛行監視ロボット



図表2　ロボットによる証拠性の高い画像の撮影

工業の分野では、エンジニアが製造プロセスを詳細に観察し解析をすることで、工業用ロボットの導入が進んできた。対して、サービスの分野についてはプロセスの分析が未だ十分になされておらず、ロボット化などの先進的な技術導入が進んでいないのが現状と考える。工業分野と同様に、サービスのプロセスについても日本のエンジニアが注視すれば、より良いサービスロボットを作りあげるポテンシャルは十分に高い。日本全体が知恵を出し合い、世界に受け入れられるサービスロボットを実現していくことが、日本にとっても望ましい状態である。セコムもサービスを生業としお客様に接する会社として、引き続きサービスロボットの導入を推進していく。

小松崎 常夫（セコム株式会社 IS研究所）

（2）自動車のロボット化

アメリカでは、グーグルがDARPA主催のグランドチャレンジ（2004、2005年）、アーバンチャレンジ（2007年）に参加したスタンフォード大学の研究者を集め研究を開始した。2012年3月にネバダ州から公道で試運転できる免許の交付を受け、同年8月時点ですでに走行距離が累計で30万マイル（約48万キロ）を突破したと発表している。2013年1月には米運輸省から法制度のプロを迎え、2017年度の実現目標を発表している。本来自動車会社ではないグーグルの参入によって、にわかに自動運転技術が社会的注目を集めるようになり、日本でも2013年10月14日から開催されたITS世界会議の一つの目玉として自動運転技術のデモ公開が行われた。自動車メーカ、及び自動車技術会と日本ロボット学会の合同で設立されたカーロボティクス調査研究委員会委員として金沢大学、株式会社ゼットエムピーなどがデモ走行を公開した。

自動運転の実用化に関して、日米欧ほぼすべての主要自動車及び関連メーカが様々な発表を行っており、今まさに競争が始まった、といえる。

図4-12　ZMPの自動運転研究用車両「RoboCar® PHV」

コラム 4-7

～カーロボティクス～

ZMPは、2001年の創業以来、二足歩行ロボットPINO、nuvoの開発、また家庭内で自律移動をする音楽ロボットmiuroを開発、販売をしており、その技術を用いて屋内で自動運転の研究ができる実車の1/10スケールのカーロボティクスプラットフォームRoboCar1/10を2007年より開発をはじめ2009年から販売を始めている。その後、人が乗れ実験ができる車両を開発するために市販されているトヨタ車体製の一人乗りEVコムスをベース車両として、走る、曲がる、止まるを制御できるRoboCar MV

を2011年に発売した。さらに、一般の自動車で汎用的な実験ができるようにトヨタ製のプリウスをベース車両にRoboCar HVを2012年に、RoboCar PHV（**図4-12**）を2013年から発売した。以上のRoboCar®シリーズは、自動車及び部品メーカ、大学等研究機関向けに研究用車両プラットフォームとして販売している。

図表　AUTONOMOS LABSの自動運転車両「Made In Germany」

乗用車をロボット化し、汎用的なプラットフォームにする際には、いくつかの課題がある。まず自動車技術の習得がカギとなる。自動車を分解し、車載ネットワークの情報解析ツールを開発し、全体をシステムで理解することを目指した。自動車をロボットに置き換えると、①カメラやレーダなどのセンサで前方のクルマや二輪車、歩行者、白線や標識を認識する機能、②それらの情報を元にコンピュータで判断する機能、③その判断に基づきエンジンやモータ、ステアリング、ブレーキのアクチュエータを操作する機能がある。③については最近のクルマにはすでに備わっており、ZMPでは①と②の研究にフォーカスしている。特に②に関しては、自己位置推定と地図生成を得意としたSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術を有するアメリカのバージニア工科大学及びSLAMを提唱したシドニー工科大学と共同研究をしている。また、実車を使った一般道やアウトバーンでの公道実験の実績を有するドイツのベルリン自由大学発ベンチャー企業Autonomos GmbHと協業している。

谷口 恒（株式会社ゼットエムピー）

コラム 4-8

～モノのネットワーク化とスマートシティ～

近年、私たちの身の回りの製品（音楽プレーヤー、携帯電話、情報端末、家電、自動車など）は、すでに「IT」や「デジタル情報」によって連携している。このIT化の波は、スマートフォンに代表されるように音楽プレーヤー、携帯電話、電子メールやデータ通信、デジタルカメラやビデオデッキ、ブックリーダー、ナビゲーション、ゲーム機、辞書、健康管理機器等の融合をもたらし、今や自動車もIT化が進むことで、あたかも「走る情報端末」のような存在になりつつある。さらに、身の回りの各種商品とそれを使ったサービスがIT化され、デジタル情報で連携していることを考えれば、生活空間や住宅、社会インフラを含めた地域、ひいては、私達の社会全体にIT化の波が訪れることも想像に難くない。

この様に、多種多様なモノのネットワーク化（IOT：Internet of Things）がなされた世界で可能になることはなんであろうか。それは、「IT化」によって、これまでは得られにくかった「需要家（ユーザ）」の実態を示す各種の「利用・消費過程のデータ」（生活情報、位置・移動情報、健康医療情報、販売情報、エネルギー消費量等）であり、これをいかに活用し、それらに価値を見出すかが問われることになる。そして、既存の製品や産業にそのデータが活用されることにより、それらが賢く（スマート）になるだけなく、ITが「産業の糊」の役割を果たして産業融合を起こして、スマートなサービスを提供する新産業を創出したり、ビジネス競争、社会課題の解決、安全・安心でレジリエントな国の制度設計やインフラの構築等に活かしたりと、膨大でより実際的なデータに基づき、将来を予測しながらよりスマートな社会（スマートシティ）を構築することができるようにもなるとも考えられる。

この様な状況下、我が国では経済産業省から「IT 融合」という概念が打ち出された。また、海外においても、Cyber-physical Systems（米 National Science Foundation）やSmarter Planet（IBM）、欧州の「ARTEMIS」（Advanced Research & Technology for Embedded Intelligence Systems）といった取組も進められている。

一方、「センサ等による様々な情報の入手、知能による判断・制御、人々へのアクチュエート（サービス提供としての働きかけ）」の機能を有する統合機械システムを「ロボット技術」と定義した場合、今後、様々な産業やそれを支える技術も、ITとロボット技術（RT）を使ってサービス提供を行う「ロボット化」によって「スマートサービス」「知能サービス」に進化し、社会・産業インフラや各種の施設、家電や情報端末、交通等は

業種を超えてサービスで連携する時代が来るかもしれない。例えば、今後の自動車ビジネスにおいては、自動車の製造、販売、点検・修理の単品ビジネスを超えて、運転を制御するソフトウェア、移動や物流に役立つ様々な情報やサービス提供システム、そのためのビッグデータのマイニング等を使った統合的でスマートな移動や物流サービスを提供するビジネスが可能となるであろう。さらにこのようなスマートなシステムを組み込んだ「知能化社会」となった都市空間の設計・運営や住環境システム等の総合的なプロデューサーが業種を超えたグローバルなサービス提供業者となってビジネスの中心となることも考えられる。しかし、我々人類に対して如何に有益な形で裨益させるかとの視点がなければ意味が無く、人類が有効に活用するべき膨大なデータに人類が逆に支配され、データの海に溺れた社会にもなりかねないことにも留意が必要である。

モノのネットワーク化とロボット技術（RT）を駆使することによって、莫大な生活・社会活動の情報から有用情報を取り出し、各種の社会・産業インフラから生活空間まで、業界横断的な連携を図りつつスマートなサービスを提供する者が「ロボットが築くスマートな社会」を構築するメインプレーヤーになり得ると考えられる。

真野 敦史（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）

4.1.5. 教育におけるロボット化

（1）ロボット研究教材・教育教材

教育分野におけるロボット技術の応用という点において、近年でもっとも影響が大きかったものが、中学校の指導要領に平成23年から盛り込まれた「計測と制御」の単元であるといえる。ヴイストン株式会社[1]では、赤外線センサを搭載し専用ソフトウェアによるプログラミングが容易に実習できる「ビュート レーサー」や、高性能なマイコンボードを搭載し使いやすさと拡張性とを高い次元で両立した「ビュート ローバー」など、低価格でありながら幅広い需要に応える教材ロボット「ビュート」シリーズを開発している。

ロボット技術を応用した教材の実用途という観点において、「計測と制御」の授業にてこれらの教材が広く活用されている事実から、これまで多く見られた「高等教育におけるロボット教材」とは異なる性質を見いだすことができる。すなわち、ロボットもしくはそれに付随する技術そのものに関する教育を目的とするのではなく、ロボットという要素を学習の動機として用い、技術課程一般や数学、論理思考力を鍛えるといった教育効果を目的とするという相違である。ロボットと名の付く教材を用いることで、学習に対するモチベーションを維持できる。プログラムの変更が直ちに実物の動作に反映されるという性質を用いることで、変数の概念を実体として認知することが容易となる。再現性の高い環境下において様々に条件を変えたアルゴリズムを試行することで、最適と思われるプログラムにたどり着くまでの忍耐力を養うことができる。そういった、これまでのロボット技術教材では想定していなかった副次的な教育効果が、多くの教育現場において得られ始めているという感触がある。

このことは、今後のロボット教材が向かうべき可能性の一つを示しているといえる。ロボット技術を適切に応用した教材を使うことで、技術や知識といった側面以外にも、感情や心理といった、より人間存在の本質に近づいた学習体験の促進が期待できるからである。心理面、感情面での学習促進という点では、ヒトに近い存在感を持つヒューマノイドタイプのロボットを応用することが想像されがちであるが、身近なものに感情を移入するという人間の心理特性を考慮すると、共感性の高い外見と動作さえ実現していれば、必ずしもヒト型である必要はないとも考えられる。

いずれにしても、このような性質のロボット教材を実現するためには、幅広い年齢層（心理的効果が高くなるほど、対象者が幼少期から高齢者までの広範囲にわたると想定される）に対

[1] ヴイストン株式会社は、全方位センサシステム、センサネットワーク、ホビー用・研究用の二足歩行ロボットなどを専門に開発・製造・販売しているベンチャー企業である。独自技術を応用した二足歩行ロボットの開発を得意としており、自律制御のサッカーロボット「VisiON（ヴィジオン）シリーズ」を製作。同ロボットを用いた「Team OSAKA」の主要メンバーとして、「ロボカップ世界大会」にて世界五連覇を達成した実績を持つ。ロボット技術を元にした研究・教育用教材も多く手掛けており、大学及び大学院や高専での研究用途に向けた高性能・大型モデルから、高校や中学校、小学校高学年などに向けた入門レベルのものまで、幅広いラインナップを誇っている。

応できる安全性、それを実現する技術開発、また、今までにない教材であることから来る利用者の心理的ハードルといった、様々な克服すべき問題点が想定される。しかしながらロボット技術による生活革新は、単純な既存機器の代替にとどまらない、全く新しい価値と市場の創造にこそその本質が見いだされるべきであり、困難であるからこそチャレンジしていくべきであると考えられる。

（2）ロボット教材を使った教育プログラム

A）OECD生徒の学習到達度調査（PISA）による15歳生徒の学力

2000年の調査結果では日本の生徒の学力は数学的リテラシーが32か国中1位、科学的リテラシーは2位であった。それが2003年では科学的リテラシーは2位をキープしたが、数学的リテラシーは6位となってしまった。さらに2006年の調査結果では数学的リテラシーが10位、科学的リテラシーは5位と順位を下げ、2009年の調査でかろうじて数学的リテラシーで9位と順位を上げるも（科学的リテラシーは前年同順位の5位）、2000年の1位からは大きく下がったままであった。

B）理数系学習の重要度が増す時代

上記のPISAの結果だけがトリガーとなったわけではないが、2002年のゆとり教育施行元年ともタイミングが合わさり、「日本の子供たちの理数系離れの深刻化」がマスメディアを中心に話題となった。

また、民間の教育サービス（塾などのアフタースクールなど）機関では、「理数系教科に特化した講座の開発や目新しいカリキュラム作り」が流行となった。

コラム 4-9

～人を育てるロボットコンテスト（ロボコン）～

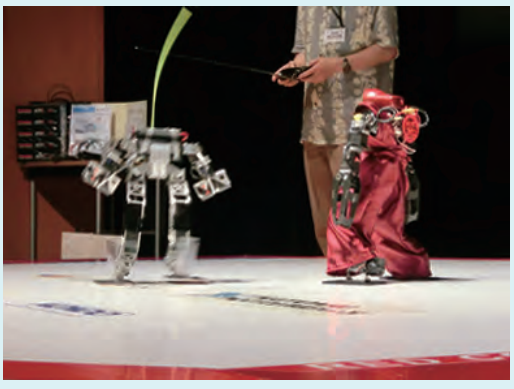
歴史が古く参加台数が多いロボコンのひとつに「全日本ロボット相撲大会」がある。2013年には1294台が参加している。毎年12月に行われる全国大会は両国国技館で開催されており、工業高校生の活躍が目立つ。ロボット相撲大会と並んで人気のある競技会がライントレースロボットによる「ジャパンマイコンカーラリー」である。2013年の延べ高校生参加台数は3564台、延べ参加校数は514校にものぼる。こうした大会に参加することは、高校生自ら積極的に勉強することにつながり、教育効果が高いことは広く知られている。

このように、高校生が多く参加するロボコンとは対照的に、社会人技術者が中心となって盛んになった大会もある。二足歩行ロボットによる格闘競技大会「ROBO-ONE」である。

「ROBO-ONE」では親子で参加するチームも珍しくない。技術者である親がロボットを製作し、ゲーム操作に慣れた反射神経の良い子供がロボットを操縦するパターンが一般的だ。ロボットの多くはゲームのコントローラで操縦するからである。

あるとき、試合前の控え室で子供が学校の試験勉強をしていた。それを見た父親が「いま、そんなことしている場合か？早くロボットの動作確認をしろ！」と叱りつけていた。いまどきの親には珍しい。時間と場所と場合をわきまえた行動をとれという社会教育なのだろう。このように鍛えられてきた学生と、学業成績至上主義で育てられた学生、あなたが会社の人事担当者だったらどちらを採用するだろうか？ ちなみにさきの例の子供は、その後希望した工科系の大学院にきちんと進学を果たしている。

図表　第23回　ROBO-ONEの様子
（2013年9月15日開催）



先川原 正浩（千葉工業大学　未来ロボット技術研究センター）

C）ロボット教材を使った教育プログラムの優位性

様々な教育機関が独自の視点で新しい理数系学習プログラムを開発しはじめ、多くは旧来のテキストとノートと黒板とを使用した座学から離脱し、実際に生徒自身が体験できるハンズオン教育のプログラムへと移行していった。

そんな中、最初にブレイクしたのが理科実験を主としたプログラムであった。生徒たちは実験の結果を推測し、実際に実験をし、その結果を観察し科学的見地を深めていく学習手法である。ゆとり教育の影響により理数系の多くの単元が先送りまたは削除されたことはこの理科実験教室を大いに後押しをした。

理科実験教室のプログラムは比較的作成しやすく、公教育の現場ではもちろんのこと、民間の教育サービス機関の多くがこの理科実験教室を開催し過当競争に陥った。一方で、カリキュラムなどの教育プログラムが作成しにくく、専門的である教材を使用したハンズオン教育に着手する団体もいくつか出てきた。その一つがロボット科学教育のようなロボットを教材とした教育プログラム（図4-13、図4-14）である。

図4-13　ロボット教材

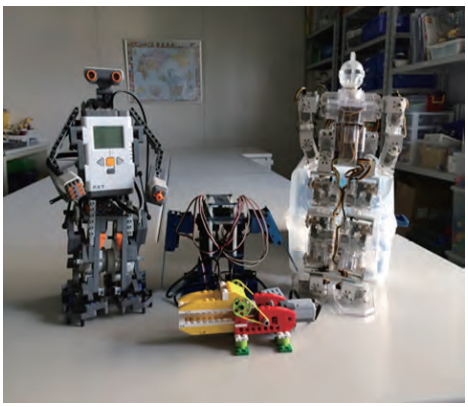


図4-14　科学を学ぶ教室「クレファス」

2003年ころ、次世代ロボット産業は将来7兆円産業に成長すると言われ、TVなどのメディアには犬型ロボットや二足歩行をするヒューマノイドロボット、ダンスを踊るロボットなど、視聴者の興味関心を大いに惹くロボットが毎日のように登場し、2005年には愛・地球博が愛知県で開催され、ロボットが出展されたブースは数時間待ちの行列ができるほどの人気ぶりだった。まさに「ロボット」という単語は日本の明るい未来を象徴するようなキーワードとなった。

そんな夢のロボットを自分の手で組み上げられ、しかも理数系の学習にもなるという一石二鳥の教育プログラムは、好奇心旺盛な子供たちを魅了した。子供たちは、自らが作るロボットを理想通りに動かすために、様々な難問に立ち向かい自らの手と知恵と工夫で解決していく。

数学嫌いの学生の常套句で、「こんな公式、社会に出たら一生使わないじゃないか。」というのがあるが、同じ関数の公式を、「こんなに便利な公式があるんだったらもっと早く教えてくれればいいのに」と言う子供がこの教育を受けた生徒の中には多く存在する。

D) 抱える課題

ロボットを教材とした教育ビジネスは一見成功しているかのように見えるが、アフタースクールマーケットの視点から見ると、まだまだその立場は確立されておらず、非常に小さなマーケット内でかろうじて一部の顧客層をターゲットに成り立っているに過ぎない。成功に至らない大きな原因はその教育の目玉であるロボットそのものにある。

「教育用」を謳うロボットキットは数多くあるが、指導要領で定める理数系の単元の多くを網羅することのできるロボットキットは残念ながらまだ少ない。限定されたロボットキットを教材に多種多様な理数系の学習単元を年間のカリキュラムに体系化させるというまさに職人芸のような技に成功した教育機関は生き残っているが、それができなかった多くの団体は淘汰されているという現実がある。また、ロボットキットの価格は非常に高額であり、入学を検討する家庭をかなりの割合で絞ってしまう傾向にもある。「ロボット」という魅力的な製品で新しいマーケットを開拓したにも関わらず、その「ロボット」がマーケットを狭めているというジレンマがそこにはある。

今後、ロボットを教材とした塾がビジネスとして成功するためには、学習指導要領に則った教育カリキュラムが付随する安価なロボットキットの開発が必須である。

コラム 4-10

～ロボカップとロボットビジネス～

ロボカップ（RoboCup）とロボカップジュニア（RoboCupJunior）は、ロボットと人工知能の新しい標準問題として「2050年、人型ロボットでワールドカップ・チャンピオンに勝つ」ことを設定し、その研究過程で生まれる科学技術を世界に還元することを目標としている国際的ロボット競技大会である。1990年初頭に日本人の若手研究者で構想され、1997年名古屋で開催された人工知能国際会議と一緒に第一回大会がサッカーシミュレーション、小型、中型の車輪移動ロボットのリーグで競われた。以降、毎年開催され、現在では、ロボカップジュニアを含めて、全世界の40以上の国と地域から、約400チーム、約3,000人の参加者が集う。ビジネスに関連した事例としては、2001年3月にバンダイ、タカラ、トミーの3社によってオープンアーキテクチャーに

よる遠隔操作型ロボットが発表された。これはロボカップトイズと呼ばれ、ライバル会社同士の協働と注目されたが、長くは続かず、現在活動を停止している。ヒューマノイドリーグのキッドサイズ部門に2004年からチーム大阪として.参戦したロボットベンチャー企業のヴイストンは、ルイ・ヴィトン社が提供するベストヒューマノイド賞を5年連続で受賞し、その技術力で勝ち残っている数少ないロボットベンチャーである。米国では、倉庫管理のネットワークロボット会社Kiva Systemsが2003年に設立された。多くの会社に納入実績があり、アマゾンに買収された。1999年のストックホルム大会の小型リーグで旋風を巻き起こしたコーネル大学のRaffaello D'Andrea教授（現在、スイスETH）が、設立者の一人であり、ロボカップからヒントを得たと伝えている。内外でのビジネス化への差が出た例であろう。

浅田 稔（大阪大学 大学院工学研究科）

4.1.6. エンターテインメント／コミュニケーションにおけるロボット化

ようやく「次世代ロボット産業」というものが誕生しようとしている。陰りの見えたIT産業の後を継ぐのは、それを現実世界に具現化させた存在としてのロボットではないかと世界の市場が考え始めた。それは、今まであったようなドメスティックなイベントに起因する一過性のブームとは大きく異なる。今後、世界を相手に戦うこととなり、その中で分野間での勝敗がはっきりしてくるはずだ。これは大きなチャンスでもあり危機でもある。白黒つかないからこそダラダラ続けてきたような研究は一気に淘汰されることだろう。

本論に入る前に前置きしておくと、ここで論じるのはあくまでもアナリストや国家が描いてきた規模の産業となりうる分野である。特殊用途のロボットや学術研究としてのロボットまでも「事業化」を強制してはならないと考えられる。

さて、ではどのような分野が期待に添うポテンシャルを持っているのか。既存のニッチな製品や作業を代替するロボットを生み出しても、例え全てが置換されたとしても同程度の市場にしかならない可能性が高い。ご存じの通り、TwitterもFacebookもYouTubeもそうして生まれてきたわけではない。

一つには、小型ヒューマノイドロボット情報端末に大きな可能性があると考えられる。その背景として、ここ数年、薄型テレビを筆頭に、高機能・高性能な製品が凋落し、iPhoneのような優れたインタフェースを持つ製品に人々の関心が移った。しかしながら、そのスマートフォンにおいても、次世代インタフェースの本命と期待された音声認識機能がなかなか浸透しな

いまま消耗戦に突入してしまった。実はこれは認識精度の問題ではない。それを証拠に我々は金魚にだってクマのぬいぐるみにだって話しかけたりするではないか。本当の理由は、誰も四角い箱に話しかけたいと思わないことである。そこで、ロボットが人のような形をし、人のような動きやコミュニケーションをする意味が出てくるのだ。それは「目玉親父」のような小型ヒューマノイドロボットである。何か物理的な作業をしてくれるわけでもなく、非力で移動も遅い。しかし、我々はそのロボットと日常的に会話をする。今や「会話」は「暇つぶし」や「癒し」ではない。多くのITサービスにとって喉から手が出るほど欲しい貴重なライフログなのである。

そんなロボットの実現に一番重要な要素は何か。それは「最先端技術」でも「国家戦略」でもない。iPhoneやウォークマンのように、新しい存在を人々の生活の中に浸透させるコンセプトデザインなのだ。それは外観、大きさ、動作、台詞、使用シーンなどの細かいディテールデザインの集合である。幸い、我々はアニメ・漫画などのコンテンツ産業の中ですでにそのノウハウを持っている。

スマートフォンの次、それはメガネ型でも腕時計型でもない。日本発、小型ヒューマノイドロボット端末（図4-15）である。10年以内に、一人一台小型ロボットを携帯し、胸ポケットから顔を出したそいつと話しながら歩く時代が来るだろう（図4-16）。

図4-15　小型ヒューマノイドロボット端末

図4-16　端末の携帯イメージ

4.1.7.　生活福祉のロボット化（アザラシ型ロボット「パロ」）

人とのふれあいにより、楽しみや安らぎを提供することを目的とするメンタルコミットメントロボットについて、1993年から独立行政法人産業技術総合研究所が研究開発を行ってきた。主に2つの目的があり、一般家庭でのペット代替目的と、医療福祉施設でのアニマル・セラピーの代替として、ロボット・セラピーの提供目的である。

心理実験やプロトタイプによる主観評価実験等の結果により、アザラシの赤ちゃんをモデルとする「パロ」（図4-17）を開発し、改良を重ね、国内外の小児から高齢者までの各種医療福祉施設等での臨床評価実験により、評価データの蓄積を行った。第8世代目のパロを実用化し、

国内では、2005年にペット代替需要をメインに販売を開始した。さらに、国内外のユーザからのコメント等を参考にして改良を行い、2013年に新型第9世代のパロを商品化した。

図4-17　セラピー用アザラシ型ロボット・パロ

これまでに、世界では約30か国で3,000体が販売された。パロは外務省の「文化啓発用品」の認定を受けて、約20か所の在外公館にパロが配置され、「科学技術外交」の一環として、日本の文化と科学技術の紹介にも活用されている。

我が国では2,000体以上のパロが販売され、約60%が個人名義で、約30%が医療福祉施設であった。国内は、アニマル・セラピーへの理解が浅いためパロのメリットを理解されにくいが、「品質に対しては世界一厳しい」ことから、ペットとしてのパロの普及・啓蒙とともに、品質に関する社会での実証実験のため、個人でも手が届きやすいようにパロは約40万円と低価格で提供されている。近年は、ロボット・セラピーへの理解が深まってきているため後者の比率が高まっており、国や地方自治体の取組みも活発になってきている。

厚生労働省は、テクノエイド協会に「福祉用具・介護ロボット実用化支援事業」を委託し、2012年度は同事業の「モニター調査・実証実験」でパロを高齢者向け施設で評価し、高齢者へのセラピー効果や介護従事者の介護負担の軽減化等を示した。2013年度は、富山県南砺市による「地域包括医療ケアにおける在宅介護支援ロボット「パロ（セラピー用）」」を採択し、パロによる認知症高齢者の在宅介護支援について、セラピー効果と家族の介護負担の軽減化、在宅期間の維持等について評価した。その結果、「認知症行動障害尺度」では、認知症要介護者の周辺症状が有意に減少し、また、「Zarit介護負担尺度」では、介護者の介護負担が有意に減少した。特に「夜間不眠、不安に伴う行動や訴えの軽減」、「不意な立ちあがりによる転倒リスクの軽減」「夜間の頻回な尿意の訴えや、排尿を理由とした離床の軽減」により、ケア遂行における障害や困難が軽減され、介護負担の軽減になった。南砺市は、医療機関が連携し、パロを用いて認知症高齢者の高度化予防、介護者の介護負担緩和に取り組むことが有意であるとし、2014年度から、市単独事業でパロを在宅介護などに導入する事業に取り組むことを決定した。

岡山市は「岡山型持続可能な社会経済モデル構築総合特区」での「最先端介護機器の貸与モデル事業」において、現在、介護保険で借りられる車いす等13品目の「福祉用具」に、14品目目として「パロを介護保険に適用」し、利用者負担を1か月のレンタル料の1割、残りを国が4割、県と市、介護保険が各2割の補助を決めた。平成26年度末まで、地域の医療福祉関係者とも連携して、認知症高齢者の周辺症状（暴言、暴力、徘徊等）の緩和効果、家族の介護負担の軽減効果等を検証する。

神奈川県は、2010年から介護ロボットの普及推進事業により、パロを評価した。2013年度は、

介護従事者に対する「パロによるロボット・セラピーの研修」と、各施設での3週間の試用・評価実験を開始した。また、その研修を受けた介護従事者が所属する施設に対して、パロの正式導入時に神奈川県が「半額補助」し、導入から約3か月間の臨床評価を実施する予定である。

海外に関しては、2008年までに欧州やアメリカでの「安全認証」（CE、RoHS、UL、MET等）を各種取得し、医療福祉施設でのセラピーを主な目的として、福祉先進国であるデンマークを最初に、「国家による倫理審査」を経た後、「研修制度」とともに、輸出を開始した。欧州では、パロの価格は約5,000ユーロ（税抜き）であり、デンマークでは25%の消費税は免税になっているが、他の国や地域では、消費税がかかるところがある。同国では、2006～08年に国家プロジェクトでパロのセラピー効果が臨床評価され、メリットが認められたため、主に認知症高齢者のセラピーを目的に、70%以上の地方自治体に「公的導入」された。認知症高齢者の徘徊などの周辺症状の抑制により、年間約30万円の薬物使用量が無くなり、介護負担も低減化されたケース等が報告されている。さらにコペンハーゲン市は、認知症高齢者の在宅介護において、1軒に1体のパロを配置し、訪問セラピー等の際に、パロを活用し始めた。その他、発達障害、精神障害、脳機能障害等向けにも活用されている。研修終了後のライセンス取得者に、パロの活用と効果に関する記録を依頼し、ユーザ会議で発表してもらい、臨床データの蓄積を重ねている。

欧州では、他の国にも同様の仕組みで展開を図り、オランダ、ドイツ、スウェーデン、ノルウェー、フィンランド、スペイン、スイス、オーストリア、フランス等へ展開を行っている。ドイツでは、最初にニーダーザクセン州 がパロを用いた認知症高齢者や発達障害者等の在宅介護での訪問セラピーの費用を「保険適用」とし、その後、ドイツ全土で適用となり、各地でパロを用いた訪問セラピー・サービスが始まった。ドイツでは、セラピー・ドッグの教育に1頭当たり約25,000ユーロがかかる。また、フランスでは、犬によるアニマル・セラピーのコストは、1時間当たり約70ユーロであり、いつでも安心して使えるパロは、非常に低価格である。

アメリカでは、2009年9月までに、パロはFDA（食品医薬品局）から「安全性」と「効果」の評価を受け、「神経学的セラピーのための医療機器（Class 2）」の承認を得て、その後、主に医療福祉施設向けに導入され始めた。パロの価格は6,000ドル（税抜き・1年保証）か、毎月200ドルのリース（3年間・保証・メンテナンス付）である。

パロは官民の医療福祉施設等に導入され、臨床データの蓄積が行われている。特に、退役軍人省病院のVA Palo Alto Health Care Systemは、併設のスタンフォード大学医学部とともに、カリフォルニア州Palo Alto市周辺の4つの認知症高齢者ケアユニットにおいてパロ活用の記録と評価を行い、周辺症状（BPSD）やPTSDの緩和・抑制効果、抗精神病薬利用の低減化、転倒等のリスクの低減化を示した。2013年から全米のすべての退役軍人省病院に導入された電子看護・介護記録システム向けに、「パロ活用電子記録・評価システム」を開発し、マサチューセッツ工科大学高齢化研究所とともに、さらなる臨床データの蓄積を行っている。また、民間の高齢者向け施設等においても、臨床データの蓄積を行い、パロによるセラピーについて、メディケア等の保険制度への適用を目指している。

その他、発達障害児のセラピーへの活用についても、パロの導入が進んでおり、臨床データの蓄積がなされている。イェール大学心理学部はRCT（Randomized Controlled Trial: ランダム比較評価）の準備を開始した。また、UCアーバイン校医学部は、1回あたり3時間から5時間程かかる、がん患者の化学療法の際に、パロを用いることにより、痛み、不安、疲れを低減化し、QOLを向上させられることを臨床実験で示し、学会発表している。

オーストラリアでは、グリフィス大学がRCTによりパロの認知症高齢者への非常に良好なセラピー効果を示した。このPLのProf. Moyleは、WHOでICD-11（International Classification of Diseases: 国際疾病分類）の理事でBPSD（Behavioral and Psycho- social Symptoms of Dementia: 認知症の周辺症状）の担当である。その評価結果を参照しつつ、2013年9月に医学ジャーナル「Lancet Neurology」が、パロのセラピー効果、薬物使用量の低減化効果、費用対効果について、大規模RCTの必要性を訴えた。これらを踏まえて、National Health and Medical Research Council（NHMRC）は、1.15Mオーストラリアドル（約1億円強）をかけて、2014年4月から、約30カ所の高齢者向け施設で、約400名の認知症高齢者を対象とする大規模RCTによる治験の実施を決定した。

その他、ニュージーランド、香港、シンガポール等でもパロの臨床評価や導入が始まっている。

4.1.8. ホテル・旅館におけるロボット化

（1）加賀屋のロボット導入事例

和倉温泉加賀屋（1906年9月創業）は、旅行新聞新社が主催する2013年第38回「プロが選ぶ日本のホテル・旅館100選」で総合1位、サービス生産性協議会（http://www.service-js.jp/）が選ぶ「ハイ・サービス日本300選」の第1回受賞企業に選ばれるなど、その「おもてなし」には多くのお墨付きがある。加賀屋では、1989年に雪月花（投資額120億円）を新築の際に料理のロボット搬送システムを導入した。客室係が部屋に料理を運ぶ作業労力を軽減・効率化し、ロボットが直接お客と接することは無いが、客室係りがお客と接する機会を増やし、サービスの質の向上につなげるものである。また、ロボット搬送システムは、料理の運搬作業を安全かつ正確に行うことができる。

サービス産業のロボット化として、ロボットが直接的に人にサービスするのではなく、人の作業労力を軽減・効率化し、全体としてサービスの質を向上させることを目指した例である。

（2）ハウステンボスのスマートホテル構想

ハウステンボス株式会社は、2013年10月にスマートホテルの基本構想を発表した。ハウステンボスが新たに取り組む「スマートホテル」は、自動化やロボット化による世界最高水準の生産性と、積極的な再生エネルギーの活用によるランニングコストの低減の実現を目指している。人、ロボット、自然に加え、新しいコミュニケーションを融合させ、これまでにない新しい体験を提供する。

多くのロボット技術を導入した人件費の大幅な削減と、ロボット技術による次世代のサービスやロボットならではの新しい体験の創出を両立し、快適で新しい「おもてなし」を実現する。具体的には、①サービスロボット（掃除用ロボット、搬送用ロボット、食品加工ロボット、警備ロボット、リネンロボット、受付・案内ロボット）による人件費の大幅削減、②コミュニケーションロボット（コンシェルジュロボット、ソフトクリームロボット、すし職人ロボット、バーテンダーロボット）によるコミュニケーション（笑顔）の創出、③空間知能化ロボット（センシング、見える化、ローカルクラウド）によるエネルギー・セキュリティ管理を行う。

また、太陽光、太陽熱、風力、井戸熱など地域に適した様々な自然エネルギーを活用し、長期的にはインフラの届かない地域でも運営可能なホテルとして、世界展開のプロトタイプとなることを目標にしている。

4.1.9. 外食産業におけるロボット化

2013年12月4日「和食：日本人の伝統的な食文化」がユネスコ無形文化遺産に登録された。「自然の尊重」という日本人の精神を体現した食に関する「社会的習慣」が世界文化遺産として認められた。これを契機に、日本の食文化がより世界に広まる可能性がある。

日本の食文化になくてはならない食材は“お米”である。“お米”に関係するロボットは、鈴茂器工株式会社が高い国内シェアを誇る。鈴茂器工株式会社は1981年に世界初となる寿司ロボットを開発した。現在では、寿司・のり巻きロボット（図4-18）、おむすび・盛り付けロボット、炊飯システムなど、ご飯に関するロボットの開発販売を手がけており、米国やEUの基準を満たした製品など、各国の地域に適した製品を展開している。

また、アサヒビールは、「2013年国際ロボット展」に、生ビールのディスペンサーロボットを公開した。センサでジョッキの有無を判定し、アーム先端のセンサでビールの液面の高さを認識する。あらかじめサイズなどを設定し、最大6個の容器に注ぐことができる。最初は泡を立てずにグラスの側面に沿って注ぎ、最後に泡を後づけしてうまいビールを提供する。このように、外食産業においてロボットの活用が進んできた。

日本の大手外食産業では、原材料の調達・卸などの流通、セントラルキッチンによる調理、中間製品のロジスティクス、最終工程における飲食物の調理、注文システムを進化させた回転寿司チェーンなどの接客等、自動車などの製造業と同じ大量生産型の産業と同様に、各プロセスでモジュール化やシステム化が進んでいる。

図4-18　小型シャリ玉ロボット

（出典：鈴茂器工株式会社HPより）

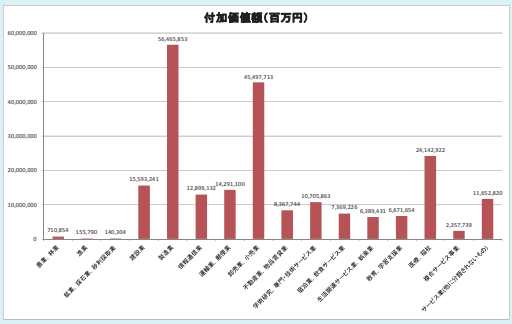
コラム 4-11

～日本の産業別の市場規模（付加価値額）労働生産性とロボット化～

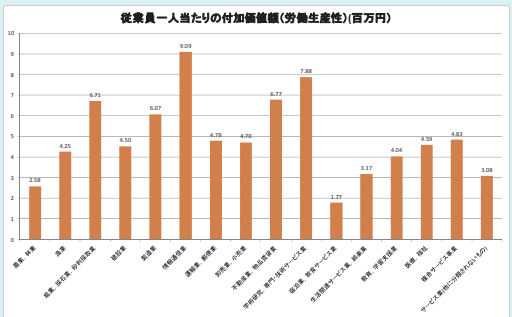
総務省統計局平成24年経済センサス - 活動調査によると、2011年1年間の各産業の付加価値額（企業の生産活動によって新たに生み出された価値：付加価値額＝売上高－費用総額＋給与総額＋租税公課）をみると、「製造業」がもっとも規模が大きく56兆円、次いで「卸売業・小売業」45兆円、「医療・福祉」が24兆円となる。マクロの市場規模でみると、これらの産業のロボット化は日本経済に大きなインパクトを与えることになる。

また、2011年1年間の「従業者一人当たりの付加価値額（労働生産性）」は、「情報通信業」が909万円ともっとも高く、次いで「学術研究、専門・技術サービス業」が788万円である。逆に、「宿泊業・飲食サービス業」がもっとも低く177万円である。ただし、従業員の雇用形態（正社員・正職員、パート・アルバイト）や労働時間の違いなどは考慮していないため産業間で比較する場合には注意が必要である。しかし、労働生産性の低い「宿泊業・飲食サービス業」は、他の産業に比べロボット化により労働生産性を高める余地があると考えられる。

公益財団法人日本生産性本部「日本の生産性の動向2013年版」によると、2012年の日本の労働生産性は71,619ドルで、OECD加盟34カ国中第21位である。主要先進7カ国では1994年から19年連続で最下位となっている。製造業はもとより様々な産業のロボット化により、日本の産業全体の労働生産性の底上げが期待される。



（出典：総務省統計局
平成24年経済センサス - 活動調査を基に作成）



（出典：総務省統計局
平成24年経済センサス - 活動調査を基に作成）

みずほ情報総研

4.2. 研究・技術

4.2.1. 基本技術領域

（1）ロコモーション

A）学会の動向

ロボット移動技術に関する学術研究の流れは、近年では新たな移動機構提案よりも、既存の移動機構を用いた応用指向の研究開発にシフトして来ている。2013年9月に開催された第31回日本ロボット学会学術講演会においても、アプリケーションが明確でない移動機構提案は減っており、例えば「移動ロボット」のセッションでも自己位置推定や複数ロボットの協調制御など、高度なセンサ情報処理によるロボット周囲の環境認識や、それをベースとした自律・半自律移動などの発表が多い。一方では、応用のセッション（レスキューロボット、福祉、カーロボティクスなど）にロボット移動技術に関する研究発表が分散しており、ロボットの応用にとって基盤的な技術であることから、継続的に研究開発が推進されている。

B）移動機構の棲み分け

近年の実用化事例や研究開発動向を俯瞰してみると、大きく分けて屋内及び路面の整備がされている市街地移動は車輪型、凹凸の激しい不整地はクローラ型（一部、大車輪型）、階段は脚型やクローラ型（または、その融合型）に収束してきている。開発や製作にかかるコスト面では、一般的に車輪型、クローラ型、脚型の順番にコストが上がることから、比較的平坦な場所で移動するロボットの実用化が先行して進んでいる。

C）期待される応用分野

2009年から開始されたNEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」では、今後数年以内に実用化が期待されるロボット分野を対象に研究開発が行われている。その中で行われている研究開発のほとんどは、搬送、警備、清掃などの自律移動ロボット、人が搭乗する形で移動を支援する立ち乗り型ロボットや電動車いす等のパーソナルモビリティロボット、人に装着して移動を支援するパワーアシストロボットなどであり、移動に深く関係した研究開発が行われている。今後特にこういった分野の移動ロボットが徐々に市場に出ることが期待され、人混在環境や人を直接的に支援するためには、移動技術の安全性や信頼性を高める技術開発を重点的に進める必要がある。一方で、社会的な要請などから、原発事故対応ロボットなど、人が近づけない極限環境で移動するロボットも重要な応用分野であり、遠隔操縦型や自律移動型ロボットに関する高信頼な技術開発が期待される。

D）今後の方向性

今後は、移動ロボットの要素技術としては、小型軽量のバッテリ開発などに期待したいが、移動機構についてはアプリケーションごとに最適化が図られるものと考えられる。一方で、研究開発の主体は、移動技術とセンサ情報処理技術との融合への流れがますます加速すると思われる。また、移動機能の検証については、実験室や研究施設内などで実施する段階から、早く公共の場を含む現場での実証試験が可能なレベルにロボットの完成度を底上げし、現場からのフィードバックを開発に取り込む流れを作ることが重要である。パーソナルモビリティロボットについては、別の章で取り上げられているように、「つくばモビリティロボット実験特区」において公道走行実証実験が開始されており、早期実用化が期待される。

なお、本節では紙面の関係で、別の節で紹介されるヒューマノイドの2足歩行技術や、飛行ロボット、水中ロボットに関する移動技術は除いた。

（2）マニピュレーション

A）技術概要

ロボット工学において、マニピュレーションとは物体操作を指す。マニピュレーションは、通常、マニピュレータにより行われる。マニピュレータは、機械の腕と手により構成される。この機構に、アクチュエータとセンサを組み込み、計算機制御することにより、マニピュレータが実現する。

このようなマニピュレータの源流は二つある。ひとつは産業用ロボットであり、もうひとつは人工知能の研究を実装するハンド・アイシステムである。この二つの分野が、黎明期よりロボット工学の発展を牽引してきた。その結果、機構、力学、制御の面での体系化が完成している[1]。

近年は、航空機、車両など、移動体におけるロボット工学の発展が著しく、この分野の技術との融合が期待されている。マニピュレーションのロボット工学を踏み台として、新しいロボット工学の分野が開拓されつつある。

B）技術動向

マニピュレーション分野の技術動向として、(1) 適用分野の拡大、(2) 新しいハードウェアの開発、(3) センサとの融合による新しい機能の獲得があげられる。以下、各項目について詳しく見る。

C）適用分野の拡大

柔軟物ハンドリング

ロボットマニピュレータを適用することにより、溶接、塗装などのラインの自動化が進んで

いるが、電気系統の配線など、柔軟物の組み立ては、相変わらず人手に頼ることが多い。これを改善するためには、柔軟物ハンドリングの技術開発が必要である。

ここで鍵となるのは、センサによる柔軟物の認識である。例えば、視覚センサと触覚センサの導入により、自動車組み立てラインにおけるワイヤハーネスの組み付け作業が実現されている[2]。

外科手術

マニピュレーション技術の新たなフロンティアのひとつに外科手術などの医療分野があげられる。ロボットによる安全かつ高度な手術を実現するためには、ロボットマニピュレータの遠隔操作、バイオメカニクスのシミュレーション、生体組織のハンドリングなど、高度な技術の集積と統合が求められる。近年、この分野の需要の拡大が見られる。

フィールド作業

ロボット開発の主たる動機は、ひとつには、危険作業のロボットによる代行がある。航空、宇宙、原子炉など、フィールドにおけるマニピュレーション技術に対する需要は大きい。この分野におけるマニピュレーションでは、外科手術の場合と同様、遠隔操作、シミュレーションが重要となる。

D) 新しいハードウェアの開発

双腕マニピュレータ

単一マニピュレータにより実現できるマニピュレーションには自ずと限界がある。ロボットによるマニピュレーションを人間に近づけるためには、双腕マニピュレータの適用が必要である。このような認識のもと、双腕マニピュレータの研究、開発が行われている。

パラレルマニピュレータ

パラレルマニピュレータとは、マニピュレータの機構にパラレル機構を用いているマニピュレータである。パラレル機構とは、機構の先端部を複数の並列機構により支え、駆動する機構である[3]。この機構により、高速、高精度のマニピュレータが実現できる。産業用途に対し、製品開発が進められている。

E) センサとの融合

マニピュレーションにおいて使われるセンサは従来、力覚センサであった。柔軟な組み付け動作の実現に使われた。これに加え、近年、MEMSなどの進歩により、慣性センサ、視覚センサの小型、軽量化、高機能化が急速に進んでいる。これにより移動体の知能化、実用化の流れが加速しているが、マニピュレーションの分野においても、これらのセンサの取り込みと融合が急展開するものと期待される。

参考文献

[1] Bruno Siciliano, Oussama Khatib（Eds.）, Springer Handbook of Robotics, Springer, 2008.

[2] Xin Jiang, Kyong-Mo Koo, Kohei Kikuchi, Atsushi Konno, and Masaru Uchiyama, “Robotized Assembly of a Wire Harness in a Car Production Line,” Advanced Robotics, Vol. 25, No. 3, 4, pp. 473-489, 2011.

[3] 内山勝、“パラレルマニピュレータの機構と特性”,日本ロボット学会誌,Vol. 10, No. 6, pp. 715-720, 1992.

（3）通信・ネットワーク

ロボット元年と呼ばれた1980年代のロボットの研究開発は、ロボットと呼ばれる機器の性能向上（可搬重量、動作速度、精度など）とそれによる自動化が主であった。1960年代に人工知能の一つの分野として研究が始まった知能ロボットの研究は、その後、無限定環境への適応性を向上させるためのロボットの知能化・自律化へと展開した。しかし、ロボット単体の知能化・自律化には技術的な限界があることから、1990年頃から分散化・マルチエージェント化の研究開発が活発化した[1-3]。この背景には、通信ネットワーク技術の進歩と、プラント制御におけるアーキテクチャの集中制御から階層制御、さらには自律分散制御への移行という分散化の流れの影響を強く受けている。

分散型ロボットシステムは、複数の要素（サブシステム、個、ユニット、モジュール、エージェント、細胞〔セル〕などと呼ばれる）から構成される。それが整合的、かつ合目的的に動作するためには、複数の要素間での通信と協調が鍵となる。ロボットが複数の内部要素から構成される場合、その要素間の通信系は、いわばIntra-networkであり、CANをはじめとするバスや、体内LANなどといった有線通信技術で構成される。ただし、自己組織型ロボットなど、複数のモジュールの合体によって構成されるロボットシステムでは、組み換え容易性の観点から、モジュール間で赤外線通信が用いられることも多い。一方、複数のロボット間での通信系は、いわばInter-networkであり、以前は無線モデムなどによる無線通信が用いられていたが、最近では無線LANなどが使用されることが多い。また、大局的な無線システムは、ロボット（モジュール）の台数の増加により、通信量の増加、ネットワークへの負荷の増大を招き、輻輳などの問題を引き起こすことから、比較的通信距離が短い局所的な通信（Bluetooth、Jigbee、UHF帯RFIDなど）も活用されるようになった。ロボットの外部に、いわばロボットの脳としての情報処理系を設置し、通信によって接続することで高度な知的機能を実現しようとする、リモートブレインの研究[4]が行われた。近年では、ネットワークとクラウドコンピューティングの普及により、このようなシステム構成の実現がより容易になった。

通信を用いたマルチエージェントロボットに関しては、群ロボット、自己組織化ロボット、モジュール型ロボット、分散センシング、分散プラニング、分散制御、協調制御などの研究が行われてきた。特に昆虫のように、多数のエージェントによる分散知能の研究は、Collective

IntelligenceやSwarm Intelligenceと呼ばれている。本来、ロボットの機能はロボット自体の物理的制約によって限定されているが、ロボット間通信は、そのロボットの制約を開放し、システムの自由度を拡大することを可能とする。このように、通信を用いたロボットの自己制約や自由度を拡大するという考え方は拡自行動と呼ばれる[5]。

通信を用いた複数のロボットの協調技術は、RoboCup（自律型ロボットによるサッカー競技会）[6]などに応用されていたが、実際のアプリケーションとしては、防衛・軍事において（分散型情報収集、サーベイランスなど）用いられることが多かった。近年では、通信によって多数の移動ロボット（AGV）を協調的に動作させることが可能な自動倉庫システムなどが開発されている[7]。

ロボットシステムの分散化に関しては、単にロボット間通信を用いたマルチロボットシステムだけでなく、空間（環境）自体をエージェント化・知能化・ロボット化したり（空間〔環境〕知能化技術）、さらにこれとロボットを協調させたりすることで、効率的な動作や適応的なサービス提供を可能にするようなシステムの開発も行われている。空間知能化技術としては、動物や昆虫のマーキング行動をモデルとした、知的データキャリア（IDC: Intelligent Data Carrier）というデバイス（電子フェロモン）が開発され[8]、これを環境に設置しながら、複数のロボットが局所無線通信により、環境を介した情報共有、協調動作が可能なシステム開発が行われている[9]。災害時に被災者を音声で探索できる情報インフラとして、IDCをレスキュー用に機能拡張したレスキュー・コミュニケータも開発されている[10]。また、ロボティックルーム[11]、インテリジェントスペース[12]、空間知[13]などの空間知能化研究も行われているが、これらのシステムはいずれも通信・ネットワーク技術に強く依存している。

一方、遠隔操作型ロボットシステムでも、通信・ネットワーク技術は不可欠な技術である。災害対応では、災害現場に投入したロボットや機器と操作室を通信で結び、遠隔で操作しながら様々な調査や作業を行う必要がある。このような通信インフラには、ロボットに搭載したカメラの映像を送るために、高速で大容量の帯域幅が要求される。また、災害現場では通信インフラを新たに構築しなければならないケースが多く、迅速に通信インフラを展開・構成可能であることも求められる。無人化施工システムでは、2.4GHz帯や5GHz帯の無線通信が利用されているが、福島原発の事故後、それらの周波数帯域の輻輳や障害物環境に対応すべく、VHF帯（180/200MHz）やホワイトスペースの活用も検討が進められている。なお、長距離の遠隔操作に対しては、光ケーブルによる有線通信との併用が有効である。

以上、通信・ネットワークについて述べたが、ロボット技術（RT: Robot Technology）による産業創出を考えた場合、ロボットと呼ばれる機器単体の開発のみならず、空間知能化も含めた分散的なシステム技術こそ、大きな波及効果が期待される技術であり、そこで通信・ネットワークが果たす役割は極めて大きい。安定な通信手段の確保と活用が、様々なロボットのニーズに応え、市場を拡大する上で、極めて重要である。

参考文献

[1] 淺間　一：”マルチエージェントから構成された自律分散型ロボットシステムとその協調的活動”、精密工学会誌, vol. 57, no. 12, pp. 2117-2122 ,1991.
[2] 淺間　一：“マルチエージェントロボットシステム研究の動向と展望”，日本ロボット学会誌,vol. 10, no. 4, pp. 428-432 1992.
[3] 淺間　一：”複数の移動ロボットによる協調行動と群知能”,計測と制御,vol. 31, no. 11, pp. 1155-1161,1992.
[4] http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research/rbr/robots-j.html
[5] 川端邦明,淺間 一,田中雅之：“ マルチロボット環境下におけるロボットの拡自行動：ロボット間コミュニケーションの創発による環境共創”、2002年計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会,横浜,11月（2002）.
[6] http://www.robocup.or.jp/
[7] KIVA System
http://www.kivasystems.com/
[8] T. von Numers, H. Asama, T. Fujita, S. Kotosaka, S. Miyao, H. Kaetsu, I. Endo: An Intelligent Data Carrier System for Local Communication Between Cooperative Multiple Mobile Robots and Environment, Proc. 2nd IFAC Conf. on Intelligent Autonomous Vehicles, pp. 366-371,1995.
[9] 藤井輝夫,淺間　一,倉林大輔,嘉悦早人,遠藤　勲：“知的データキャリアによる群ロボットの機能創発”,日本ロボット学会誌, vol. 17,No. 6, pp. 848-854 1999.
[10] 羽田 靖史, 川端 邦明, 淺間 一, 野田 五十樹, 滝澤 修, 田所 諭, 中込 宏: “社会インフラ研究プラットフォーム：レスキュー・コミュニケータ”,Quarterly Report, Vol. 2, No.8-17, 2005.
[11] T. Sato, Y. Nishida, H. Mizoguchi: Robotic Room: Symbiosis with human through behavior media, Robotics and Autonomous Systems, Nol.18, pp. 185-194, 1996.
[12] J. H. Lee and H. Hashimoto: Intelligent Space - Concept and Contents, Advanced Robotics, Vol.16, No.3, pp.265-280, 2002.
[13] 水川　真,山口　亨：“空間知機能デザインに関する研究”,第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集、pp. 534-537, 2006.

（4）人とロボットのコミュニケーション

ロボットが人とコミュニケーションする必然性はどこにあるのだろう。人間同士で話すことが一番自然であるが、人が話をしたり、ジェスチャでコミュニケーションしたりする代わりにロボットがコミュニケーションをした方が有益である場面や社会的ニーズが介護現場、病院、商店街などで増えてきている。これらのニーズに対応できるロボットができれば、それを利用する必然性が生まれてくる。

たとえば、来る人来る人にティッシュ配りやビラ配りを行う光景が公共施設や駅、商店街などでよく見かける。こうした単純作業をロボットに代行する意味は大いにある。介護現場で介護士が同じ名前やモノの名称を高齢者や障害者に繰り返し語りかけることや、患者が何度もナースコールで看護師を病室に呼び出し、話しをするなどのコミュニケーションシーンでは、介護士や看護師の負担軽減が喫緊の課題になっている。実際、人型やぬいぐるみ型ロボット、ア

ンドロイドなどで代行する社会実験がすでに行われ、効果があることが報告されている。一般に、人間と同じコミュニケーション機能をロボットに実現するとなると、人に迫る音声認識や画像認識能力を要求しがちになるが、コミュニケーションロボットの利用シーンでは、むしろ音声認識能力以上に、実際のサービスアプリを開発するには、人の表情の変化や周囲環境の状況（被介護者の行動、患者が話したくなる頻度、社会・人間関係、商店街の混み具合や騒音の状況、移動物体との衝突回避ができるか，等）を把握する能力の方が要求される。

これらの点を考慮すると、コミュニケーションロボットの場合、センシング機能として、画像認識（見る）、音声認識・理解（聞く）、触・圧覚（触られている）、環境認識などがある。アクチュエーション機能として、話す、移動する（点字ブロックを越えられるなど走破性に関するもの）、持ち運ぶ（人やモノを持ち上げる）、ジェスチャする（指さし、アイコンタクトなどの視線制御）などがあげられる。次に、知的な制御機能として、ロボット、環境センサ、インターネット情報とネットワークを介して協調・連携することによって、ロボット単体では不足する情報（ネットワークロボット）を制御する、遠隔操作者によって制御する、ビッグデータを検索する、等の機能が必要になる。

これまでの実証実験から、これらのロボットを人が使い続けると、愛着が湧いているものやすぐに飽きてしまうものなど、様々にわかれる。その原因が上記の性能だけでなく、ロボットの見え（または見かけ）にあることも分かってきている。人型ロボットや人間とそっくりの顔立ち、身体で動くアンドロイドなどと人がコミュニケーションして、人間同士の対話との類似点や相違点を脳科学・脳計測などの手法で分析が進められている。こうした客観的な計測によって、コミュニケーションロボットが社会に受け容れられる基本技術が確立していくと予想する。独居高齢者や高齢者夫婦などが約65％も占める我が国において、人に代わって、話す機会を与えてくれる、コミュニケーションロボットに対する需要は今後、急速に伸びていくことが期待されている。

4.2.2. 注目技術

（1）安全工学

A）サービスロボットの安全

サービスロボットは次世代産業として期待されており、安全性はその産業化に欠かせない要素である。国際的に安全性はISO/IEC Guide 51 [1] を頂点として規格として体系化されており、日本国内でも国際安全規格を踏まえたサービスロボット安全に関係する国のプロジェクト [2-4] が実施されている。

サービスロボット安全は次の理由から設計時に考慮すべき事象が増加する。

• サービスロボットの使用者、使用環境は多様であり、またそれらと密接に相互作用するため、使用状況が多様である。
• 国際安全規格に基づく安全設計では、機械設計時の意図する使用だけでなく、使用者の合理的予見可能な誤使用を設計者は考慮する必要がある。

よって、系統的に安全設計を進め、見落としや手戻りを減らすことがサービスロボットの効率的な開発では重要である。また、合理的予見可能な誤使用に起因する事故の責任を機械設計者に求めた日本の判例もあり[5]、安全設計を適切に実施することは、サービスロボットビジネスを持続的に発展させるためにも重要である。

B）サービスロボットの国際安全規格

サービスロボットに関する国際安全規格ISO 13482[6]は、2014年2月1日付けで正式に発行された。同規格では次の3つのロボットを例に取り、サービスロボットの安全設計の考え方をまとめている。

• mobile servant: 自律的に移動しタスクを実行するロボット
• personal mobility: 人を乗せ移動するロボット
• power assist: 人が装着し人の動きを支援するロボット

同規格の構成は以下となっている。

1章. 適用範囲
2章. 参考規格
3章. 用語と定義
4章. リスクアセスメント
5章. 安全要求事項と保護方策
6章. 安全に関する制御システムの要求事項
7章. 妥当性検証
8章. 使用上の情報
付属書A. パーソナルケアロボットの重要な危険源
付属書B. パーソナルケアロボットの稼働空間の例
付属書C. 安全防護空間の実装の例
付属書D. パーソナルケアロボットの機能タスクの例
付属書E. パーソナルケアロボットの警告表示の例

参考規格（2章）の主要なものは以下である：ISO 12100:2010（JIS B 9700:2013）（リスクアセスメントと安全設計原則）、IEC 60204-1（JIS B 9960-1）（電気安全）、ISO 13849（JIS B 9705）（制御安全）、IEC 62061（機能安全）。

リスクアセスメント（4章）に詳細な記述は無いが、付属書Aの危険源リストはリスクアセスメントの「危険源の同定」に有益な情報である。また、付属書Bではロボットの稼働空間を保護停止空間、安全防護空間、監視空間、制限空間、最大稼働空間に区分して、リスクアセスメントの「機械類の制限の決定」を見通し良く決めるための情報を提供している。各空間の関係の具体例が付属書Cで示されている。

安全要求事項と保護方策（5章）では、ロボットの動き、バッテリ、人の認識能力等に関する危険事象と3ステップメソッドによる保護方策が16節にわたり説明されている。

安全に関する制御システムの要求事項（6章）では、制御安全・機能安全として実現される安全機能（例：非常停止、速度制限）と要求事項が11節にわたり説明されている。いくつかの安全に関する制御システムのパフォーマンスレベルが例示されている。

サービスロボットの具体的な設計に利用できる数値（例えば人とロボットの許容される接触力）はISO 13482に示されておらず、今後の同規格の改定で関連情報が追加されることが期待されている。現状では、同規格はサービスロボットの安全設計を進めるうえでの指針的に用いるのが適していると考えられる。

C）災害対応ロボットの安全

自然災害の多い我が国にとり、災害対応ロボットの必要性は論をまたない。また、近年の国際情勢の不安定化により、テロ災害対応ロボットの必要性も国際社会で要求されるようになってきている。現在未整備である災害対応ロボットの安全基準を策定し、災害対応ロボットの普及を促進することは、ロボット技術を用いて安全安心社会の構築を目指す我が国にとって、早急に取り組むべき課題といえる。

文献[7][8]の委員会では、災害対応ロボットの安全基準を各分野の専門的立場から検討し、安全基準の確立に必要な情報を明確化することを目的とした調査が行われた。以下にその調査の概要を示す。

災害対応ロボットの多くは、レスキュー隊員などの訓練を受けた使用者が、人命救助等の公共性の高い目的のためにロボットを使用すると考えられる。同じように公共性の高い鉄道分野の安全規格では、鉄道RAMS規格[9]と呼ばれ、鉄道の信頼性（Reliability）、可用性（Availability、使いたい時に使える程度）、保守性（Maintainability）、安全性（Safety）を総合的に規定している規格である。鉄道RAMSのリスク評価の特徴として、「サービスが提供できるかどうか」という可用性を主とした要素も障害の酷さの評価で用いられている点がある（ISO/IEC Guide 51[1]に基づく機械安全でのリスク評価では、このような可用性の要素は明示的には考慮されていない）。これは、鉄道が高い公共性を持っており、鉄道輸送サービスの欠如が社会に対して大きなリスク（通勤の混乱による事故の増加等）を生じさせるためと考えられる。すなわち鉄道RAMSでのリスク評価は、人に対する安全性と輸送サービスの可用性のバランスを明示的に考える構造を持っていると解釈できる。

消防関係者が使用する災害対応ロボットはNBC災害対応などの公共性の高い目的を持って

使用される。よって災害対応ロボットの安全性は、鉄道RAMSでの安全性と可用性とのバランスを考えたリスク評価の構造が適していると考えられる。すなわち、使用するレスキュー隊員や要救助者への単純な安全性だけでなく、提供するサービス／ベネフィットの可用性とのバランスを考えて、災害対応ロボットのリスク評価を実施すべきと考えられる。なお、この安全性と可用性のバランスの判断には利用現場の特性の十分な理解が必要であり、バランスの最終的な判断主体はロボットを使用する災害対応関係者になると考えられる。

レスキュー隊員の災害対応ロボットの操作者は、徹底した訓練の下でロボットを利用する。よって災害対応ロボットの開発者が特に考慮すべき残留リスクは、レスキュー隊員が訓練により低減することの困難な防爆、電磁ノイズ（EMC）、ユーザインタフェース（UI）における人間工学的配慮、除染、保守・点検のリスクであると考えられる。

なお、同委員会は3年間の設置を予定していたが、事業仕分けにより2年目の調査段階で終了し、具体的な安全基準策定には取り組めなかった。同委員会より公表された調査結果は、同委員会関係者により米国での災害対応ロボットの標準化活動（ASTM E54 Homeland Security Application）に引き継がれ、関連規格策定の一助を担っている。

D）ロボコンと安全

学生の手作りロボットで競技を行うロボットコンテスト（ロボコン）は、高い教育効果から国内外で広く取り組まれている[10]。安価で高出力なバッテリ（LiPoバッテリ等）等のロボット用部品の高性能化だけでなく、3D-CADやNC加工機の普及等によりロボット設計技術も向上し、現在のロボコンロボットは競技課題によっては人間の能力を凌駕しているものもある。このようなロボットの高性能化にともない、ロボコンロボットの開発、使用に伴う事故の増加が懸念される。

一般に大学、高専等での教育現場での安全教育は「いかに安全に機械を使うか」という労働安全的教育が中心である。一方、ロボコンで必要とされる「いかに安全なロボットを作るか」という機械安全的教育は、現在の学校教育では個々の指導教員に任されている場合が多く、指導教員毎の安全指導の差が懸念される。このため、ロボコンの運営側から積極的に安全に関する要求をロボコン参加チームに求める事が行われている。以下にその例を示す。

- 使用するすべてのエネルギー源（充電器等を含む）のリストと取扱説明書を実行委員会に申請する[11]。
- 安全対策確認シート（ロボット作業用、作業環境用）により安全性を事前にチェックし、その結果を実行委員会に提出する[12]。
- ルールブックの冒頭に安全に関する注意事項を入れ、実行委員会としての安全重視の姿勢を明示している。ロボット作成における安全対策を3ステップメソッドを元に例示している[13]。

ロボコンへの参加学生は、ロボコンでの勝利に近視眼的に重きを置きすぎ、安全対策を怠る

場合がある。このようなロボコン安全の特徴を踏まえ、参考文献[12]のロボコンでは「安全対策は一見回り道に見えますが、危険がないように整理整頓すること、シンプルな構造にすること、危険な部位を減らすこと等により、作業性の向上も見込めます。」と周知し、ロボコンでの勝利と安全が両立しえる事を伝え、ロボコン安全の効果的普及に努めている。

ロボコンに参加している学生達は、次世代サービスロボット産業の担い手でもあると考えられる。ロボコン安全とサービスロボット安全の連携も、サービスロボット産業化加速の一助となるであろう。

参考文献

[1] ISO/IEC Guide 51, Safety aspects- Guidelines for their inclusion in standard, 1999.
[2] NEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト（H21-H25）」http://www.nedo.go.jp/activities/EP_00270.html
[3] 経済産業省「ロボット介護機器開発・導入促進事業（H25-）」http://robotcare.jp/
[4] 経済産業省「グローバル認証基盤整備事業 先端分野に係る機能安全に関する認証システム基盤整備 生活支援ロボット（H24）」http://www.meti.go.jp/information/publicoffer/kobo/downloadfiles/k130222002_01.pdf
[5] 損保ジャパン日本興亜リスクマネジメント　クラブ、『食品容器製造機』のPL判決紹介, No. 56
[6] ISO FID 13482, Robots and robotic devices -- Safety requirements for personal care robots, 2013.
[7] 日本機械工業連合会,日本ロボット工業会,平成21年度災害対応ロボットの安全基準策定に関する調査研究報告書,H21.
[8] 日本機械工業連合会、日本ロボット工業会、平成22年度災害対応ロボットの安全基準策定に関する調査研究報告書,H22.
[9] IEC 62278 Railway Applications, The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety（RAMS）.
[10] 日本ロボット学会ロボット教育論文特集号,第 31 巻第 2 号, 2013.
[11] レスキューロボットコンテストホームページhttp://www.rescue-robot-contest.org/
[12] NHK高専ロボコン2013ホームページhttp://www.official-robocon.com/jp/kosen/kosen2013/index.html
[13] アジア太平洋放送連合（ABU）ロボコン2014 ホームページhttp://roboconindia.com/

（2）空間知能化

空間知能化は、空間を対象とした知能化のプロセスであり、①観測、②事象の抽出、③知能、④働きかけ、の4つの部分に分けられ、その各々がさらに細分化された研究対象となっている。空間全体がロボットの機能を持つという観点から、空間のロボット化といえる。

空間知能化では対象空間内に人間が存在することによって、対象となる空間自身及び人間と空間との状況（サービス）に関する複雑性・多様性が著しく増大する。この観点が単なるインテグレーションと異なるが、一方、空間という物理的ドメインの設定によってセンサを用いた観測が増大し、複雑性・多様性を減じることができる。

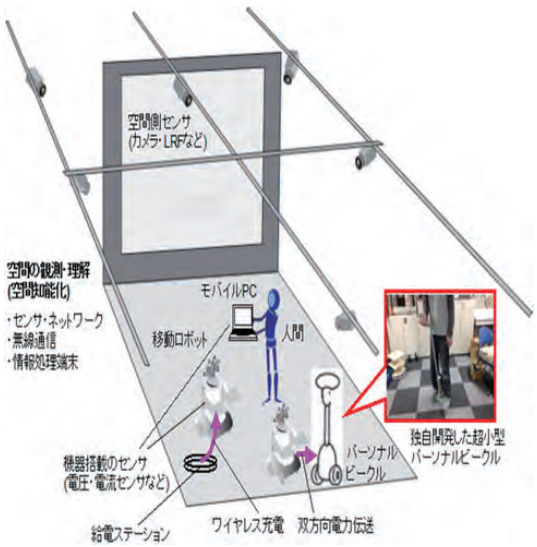
具体的な研究及び技術に関しては、「ロボット情報学ハンドブック第12章空間知能化・環境構造化、ナノオプトニクス・エナジー、近代科学社、2010年3月」にまとめられている。ここでは、エネルギー管理に関する新しい研究を紹介する。（図4-19）に示すように空間内に分散配置されたカメラから、空間内での使用者である人間及びモバイル機器（PC、スマートフォン、パーソナルビークルなど）の各々の状態（位置、姿勢）が観測される。さらに、各モバイル機器は保有エネルギー（電池残量）を計測するセンサを搭載しており、これらのセンサは無線通信によってネットワーク化されている。空間は、モバイル機器の保有エネルギーを常に確保することを目的として、人間及び各機器の観測に基づき以下の事項を行う。ここで、補充とは電池などの取り換え或いは充電を意味する。

- エネルギー補充用機器の指定（電池交換用移動ロボットか充電用移動ロボットの指定）
- 補充時刻の指定（各機器がいつエネルギーの補充を行うか）
- 補充位置の指定（各機器がどこでエネルギーの補充を行うか）

空間は、使用者及び各モバイル機器の位置と保有エネルギーを観測し、その分布を得る。使用可能な電池交換用移動ロボット及び充電用移動ロボットの状態（位置、電力容量、移動速度、移動時電力消費、充電効率）を用いて、エネルギー補充後の各モバイル機器の位置及び保有エネルギーを推測する。これらの情報に基づき、複数ある補充用機器の中から最適な利用機器を選択し、エネルギーの補充を行う時刻と場所に関する戦略を作成する。この時、物理的に繋ぐという動作を行わないワイヤレス電力伝送による柔軟な充電は強力なツールとなる。現状では、確率モデルを用いた推定を行っており、さらに人間の認知特性を取り込む方向での研究へと向かっている。

空間内の人間及び機器が常時観測されることと、ワイヤレス電力伝送によるエネルギー補充の自由度の確保によって空間と一体化した今までにないエネルギー管理が実現される。

図4-19　空間知能化システム構成イメージ



（3）サービス工学

A）サービスとは

サービスとは行為であり、プロセスである。一般に、無形で触れない（intangibility）、状況や文脈によって品質の差が起きやすい異質性（heterogeneity）、実施するとともに消費され

(inseparability)、在庫ができない（perishability）という特徴を備えると言われている。2004年には、Service Dominant Logicが提唱され、顧客の価値はすべてサービス（プロセス）を介して顧客とともに創られる（共創される）ものであるとされた。ロボットのようなモノは、サービスを提供するための媒体という位置付けになる。

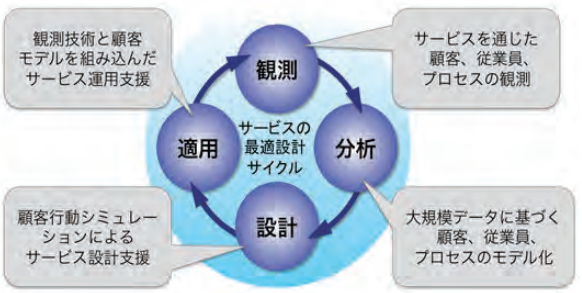
B）サービス業の労働生産性

多くのサービス業は製造業に比べて労働生産性が低い。2005年の中小企業庁の調査報告によれば、大企業製造業の労働生産性が7,095円／人時であるのに対し、大企業の飲食・宿泊業は2,216円／人時、中小では1,842円／人時である。相対的に生産性が低い理由として、サービスは在庫ができず需要変動をバッファできないため待機や機会損失があること、価値の異質性に対応するために従業員の観察と経験が不可欠であり自動化が難しいことなどがあげられている。

C）サービス工学

サービス工学とは、サービス業の生産性を向上させるための科学的アプローチの体系と、それを支える技術群である。需要予測や、異質性への対応を、経営者や従業員の勘と経験にのみ頼らずに、データに基づく科学的アプローチで解決することを指向する。このために、サービスプロセスを観測し、分析した上で、仮説を立てて新たなサービスプロセスを設計し、それを適用し検証するというサイクルを、サービス事業者自身が自主的に廻せるようにする（図4-20）。

図4-20　サービス工学



観測技術としては、顧客や従業員の潜在的な行動要因を引き出すためのエスノグラフィーや行動観察手法、顧客や従業員のサービス提供時の行動を記録するためのセンシング技術がある。センシング技術がサービス現場に適用されれば、状況と環境、従業員のサービス提供行動と顧客の受容行動に関する大規模データが蓄積されることになる。この大規模データを分析し、状況や環境、行動、関連因子の関係性を明らかにするためにデータマイニング技術が用いられる。顧客の受容行動に基づいて顧客を類型化するカテゴリマイニング技術と、カテゴリ間の確率的関係をモデル化する技術などがある。このような確率的モデルによれば、需要変動を状況や顧客カテゴリに応じて予測できる。また、その需要予測に対してマルチエージェントシミュレーションによって従業員のサービス提供プロセスを模擬的に実施し、状況変化に強靱なサービスプロセスや従業員シフトを設計する技術も開発されている。設計されたサービスプロセスを従業員が実施（適用）する際に支援

をする技術も、ハンドヘルド端末などを活用して実現されている。端末は、サービス提供現場での顧客満足度を観測することにも利用されている。

D）適用事例

飲食店（寿司チェーン店）に一連のサービス工学技術を適用した事例を紹介する。POSシステムから得られる大規模データをマイニングした結果、顧客は昼定食型、夜飲み会型、昼懐石型など20弱のカテゴリに分類された。天候や周辺のイベントなどから店舗毎、カテゴリ毎の需要予測を行った。これを仕入れに反映させることで廃棄ロスを低減するとともに、近隣店舗間での従業員シフトを効率化する設計を行った。これには、マルチエージェントシミュレーションを活用した。また、従業員の店舗内でのサービス提供行動を詳細にセンシングし、需要の高い時間帯に顧客接点が増えるようサービスプロセスの改変も実施した。この結果として、追加注文が増加した。

E）サービスのロボット化

サービスのロボット化は、サービスそのものを画一化して自動化することではない。サービスの価値には異質性があり、状況や環境、顧客の文脈に応じたプロセス提供が必要である。ロボット化の第一段階は、顧客接点以外のサービスプロセス（バックヤード）を自動化することである。老舗旅館が配膳ロボットを用いて部屋のすぐそばまで自動配送している事例（4.1.8）がこれに相当する。第二段階は、ロボットを介してサービスプロセスのデータを収集し、それをリアルタイムに処理して､サービスの異質性に対応したプロセス提供を支援することである。ロボットのデータ処理能力は、人間の勘と経験を十分に凌駕する。ロボット化によって画一的なプロセスに自動化するのではなく、ロボットと従業員の協調により、効率的で、多様なサービスプロセスを柔軟に、かつ、適切に提供できるようになるものと期待している。

（4）ヒューマノイド

1996年にホンダが非常に完成度の高い自律型二足歩行ロボットP2を発表したことをきっかけとして、その後多くのヒューマノイドがSONYやトヨタといった企業や大学、研究機関等で開発された。近年では欧米でもヒューマノイドの開発が盛んになっている。

ヒューマノイドはマニピュレーション機能や画像処理機能など、ロボット分野の様々な要素機能をシステム化したロボットであるが、その特徴的な機能は二足歩行機能であろう。2000年に最初のモデルが発表されたホンダASIMOの歩行速度は年々向上し、2011年には2.7km/hと人と協調して働けるスピードに近づきつつある。

米Boston Dynamicsが開発したAtlasは外乱や歩行路面の凸凹度合いに対して非常に高い適応能力を持つことが動画で示されている。P2以降に開発された多くのヒューマノイドロボットは電動モータとハーモニックドライブと呼ばれるバックラッシュの小さい減速機を用いて関節を駆動していたのに対して、Atlasは油圧によって関節を駆動しており、従来とは駆動方式

が大きく異なっている。油圧による駆動方式は、不整地等に適応する上で必要となる俊敏な動作の実現に貢献しているものと考えられる。

本質的に不安定な二足歩行を移動手段として利用するヒューマノイドには、転倒時に人を含む外部環境、自分自身への被害を最小限に抑え、転倒状態から回復して活動を継続できる機能が不可欠である。この機能の実現に対する取組はいくつか見られるものの未だ十分とは言えない。

人に近い形態を持つヒューマノイドは、ロボットが家の中や街中を歩き回り、様々な日常作業を代行してくれる未来の到来を期待させる。しかしその能力は未だ非常に限定的というのが現実である。近未来での実応用を考えた場合には、求められる機能に最適な形態と最小限の機能を備えたロボットを個別に開発するのが現実的ではあるものの、人に合わせて整備された環境で人に代わって働くロボットの形態として人型であることが最適であることは間違いなく、今後さらなる技術開発が望まれる。

（5）BMI

脳-計算機インタフェース（Brain computer interfaces, BCI ）または、脳-機械インタフェース（Brain machine interfaces , BMI ）は、脳の活動を計測・処理し、システムの指令に変換する機器である。これが完全に実現されれば、BMI技術は人間・機械インタフェース技術（Human-Machine Interface, HMI）のブレークスルーとなりうる技術である。実際、現在のHMI（キーボード、ジョイスティック、音声読み取り、Kinectなど）は、脳からの遠心路の結果生じる人間の意図を変換する機器である。これに対し、BMIはこの遠心路をスキップして人間の考えを機械の指令に変換する。BMI技術は、ロボット車いす、ロボットハンド・アーム、外骨格型アシスト機器やヒューマノイドによる複雑な作業まで、異なるロボットシステムに指令を与えることが可能で、特に重度の障害を持つ人が計算機やロボットを使用するのに大変有用であることが示されてきている。現在はその性能は限定的なものであるが、その技術面・性能面での改善の余地は十分にあり、大きな潜在的市場が期待される。すでに、簡便なBMI機器はゲーム分野で製品化されている。ロボット工学分野においては、念じることでロボットを操作できるようになれば、人間・ロボット間意思伝達をより簡単化することができ、ロボットをより直観的かつ簡単に操作することができる。

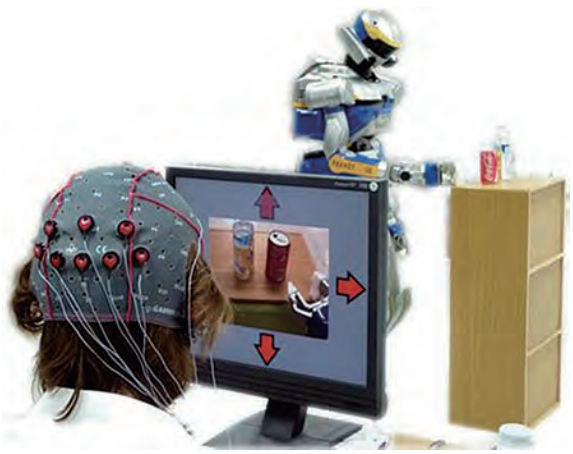
BCI、BMIという用語は、一般雑誌等では心や考えを読み取る機器という意味で濫用されることもしばしばであるが、実際は異なる。現在のBCI技術は使用者の心を読んだり、人間の思考を抽出したりするにはまだ程遠い段階で、どちらかと言えば「脳の刺激反応」の信号処理プロセスというほうが正しい。BCIシステムの主要な構成要素は、脳の活動計測装置である。それらの多くは医学分野の神経学で使用されている脳の計測技術から派生したものであり、侵襲・非侵襲の脳の活動計測技術がある。侵襲的な脳活動計測技術は、脳に直接電極を設置するもので、特に重度の障害者に対する明確な医学的な目的を持っている。脳波（EEG）や機能的医療画像装置などの非侵襲的技術は、より一般的な仕様への拡張が考えられる。しかしこれ

らの技術は特殊な使用条件を要しており、より高精度、高信頼度の脳活動計測には、さらに研究開発が必要である。

非侵襲的技術で計測された脳の計測信号は、使用者の深い意図を読み取るにはまだ粗く、大まかすぎるのに加え、一般に信号・雑音比の性能が低い。したがって、BMIの使用においては、（一定のトレーニング段階の後で）事象への反応あるいは定常状態誘発電位などの脳からの応答信号の信号処理が主要な部分となる。これらの信号は、事象の認識や、刺激に対応する分類を行う形で処理される。脳の電気的信号を計測する際に良く知られた電位信号はP300というもので、使用者が期待した事象が生じた際に生じるものである。また、定常状態誘発電位（SSEP）は、脳の視覚・聴覚的刺激に対する脳の応答である。また、機能的核磁気共鳴画像（fMRI）による脳活動計測により、「運動イメージ」として、関心領域を分類することができる。まとめると、基本的な考えとしては誘発電位や運動イメージを通して脳の応答が「どのように見えるか」を取り出し、誘発された応答を、脳の活動パターンの違いとして検出することを目指すものである。

BMIを使用したロボット制御システム（**図4-21**）では、刺激や事象を、作業に対応するセンサの特徴的信号に関連付けることが一般に行われている。以下に二つの例を示す。一つは、例えばロボットを移動させる場合、その移動方向を示す矢印を、ランダムに表示される視覚・触覚の事象として定義する方法である。ユーザが意図する方向に対応する矢印に対して、脳からP300信号が誘発されるため、BCI信号処理装置でこれを検出する。誤検出を避けるため、同様の選択が数回行われた後にこれを確定する。この後、所望の動作や作業の指令がロボットに送られる。もう一つの方法は、対応する作業を物体に関連付けることである。物体についてあらかじめ学習しておけば、ロボットの視覚システムによりこれを認識し、ユーザに対し複数の物体を異なる周波数で点滅させて提示することができる。ユーザが画面上で意図する物体（特定の周波数で点滅）に意識を集中すると、SSEPの検出によりその物体に対応する作業が自動的に選択され、作業指令がロボットに送られる。これらの方法をさらに高度化したり、異なる形態で実現したりすることが可能である。神経フィードバックはロボットを制御する一つの方法であるが、ユーザにはさらに訓練が必要となり、ロボットアームなど連続的な動作にのみ適用可能である。神経フィードバックは、ユーザの持続的な訓練の後、誤差逆伝搬法によりロボット運動の基本レパートリーを取得する際にも使用可能である。

図4-21　BMIを使用したロボット制御システムイメージ



（6）高齢者クラウド

A）空間工学

バーチャルリアリティ（VR）という言葉が初めて使われるのが1980年代の末のことである。コンピュータによってつくられた人工的な世界を、あたかもそれが現実であるかのごとく疑似体験することができる、というのがこの技術のポイントである。この技術は本来、情報工学由来のもので、ロボティクスとどんな関係があるかといぶかる人も少なくないのではないかと思われる。

しかしながら、VR技術のポイントのひとつは情報を「身体的」「空間的」に扱うことが出来る、という意味において、ロボット技術の特徴である空間運動系に関連することは非常に多い。加えて、触力覚のような機械的感覚の合成において必要とされるディスプレイは、まさにロボティクスにおけるマスタースレーブ機構そのものであり、これがテレプレゼンスのような遠隔臨場制御のような中間領域を形成しはじめると、まさにVRとロボティクスの境界はあいまいなものとなる。

1990年代に入ると、ミクスト・リアリティ（MR）と呼ばれる技術が生まれる。これはコンピュータの内部に存在するVRの世界と、現実の物理世界を融合させようという技術であり、現在のサイバーフィジカルに至る流れのひとつがここで形成され始める。

MRの分野において、わが国は世界的にも先進的役割を演じており、たとえば1997年に通産省（当時）は、キヤノンとの合同プロジェクトとしてMRシステム研究所を設立して、MR技術の基礎的研究に着手した。ここでは現実世界にVR技術を重畳させるための装置としてのシースルー型HMDの開発、裸眼立体ディスプレイの開発、実世界の3D情報からCG世界を合成する手法の開発などが研究された。これらの研究は、現在のgoogle glass、google street viewなどとは独立して研究開発されたものであり、今後花開くであろうMRの世界に、わが国は一歩先んじたことは記録に止めるべきである。

MRをより拡大解釈すれば、実世界と仮想世界をシームレスにつなぐ技術ということになるが、この分野は20世紀末から21世紀はじめにかけて急速に進歩した。たとえばユビキタス技術は空間の中に超小型のセンサを分散配置することを可能とし、さらにモバイル技術はそこに運動という動的側面をも加えることになった。

こうした実世界系技術は、本来の情報技術である巨大データベース由来のビッグデータ技術と融合し、たとえば実世界ライフログ、先述のサイバーフィジカルシステムなどのようなより大きなスケールを有する次世代MR技術へと進化を始めている。

本来ロボット技術は、現実世界のアクチュエーションを目的とする技術であり、ここで述べたような空間系技術の基盤となる技術のひとつであることは言うまでもない。

B）高齢化応用

わが国は、超高齢社会を迎えようとしている。人口問題研究所の調査によれば、2055年には、65歳以上のいわゆる「高齢者」の人口比率が40％を突破すると言われている。もはや高齢者はマイノリティではなく、社会の主要構成員となるわけで、これまでのように福祉的観点のみから高齢化問題を語っていては社会全体が立ちいかなくなってしまうであろう。

つまり、高齢者を「守られるべき弱者」としてではなく、「社会を支える強者」として位置づける、新しい社会システムの構築が求められているわけである。とはいうものの、高齢者が若年層同様に就労しつづけるのは無理があることも事実であり、こうした観点からの技術支援が必要とされている。

高齢者の就労支援のためにロボットやITを活用しようという方法論はまだ十分社会に認知されているわけではなく、ほとんどの応用事例が介護応用である。産学を巻き込んで、比較的明示的に高齢者とロボットというキーワードで実施されたのが、JSTのCOEプログラム「少子高齢社会と人を支えるIRT基盤の創出」（通称IRT　2006～）である。これは、東京大学とトヨタ自動車をはじめとする企業群により実施されたもので、高齢化によって生じる運動能力・知的能力に関するハンデをロボット技術や情報処理技術によって補完しようというものである。このプロジェクトではパーソナルモビリティと呼ばれる自律移動能力を有する超小型ビークルによる移動支援、ユビキタスセンサを大量に配置した見守りルームによる記憶支援、遠隔操作ロボットを含むテレプレゼンス技術による体験支援などの可能性が試みられた。

IRTの基本理念である「高齢者の自立を機械力によって実現する」を、さらに先鋭化させたプロジェクトがJSTの戦略的イノベーション（S－イノベ）のテーマとして採択された「高齢者の経験・知識・技能を社会の推進力とするためのICT基盤」（2011年～）である。これは現在も東京大学と日本IBMにより実施されているもので、単なる高齢者支援というよりは、就労支援という、より生産に特化した目的を有している。このプロジェクトでは、「モザイク」という仮想労働力の概念が提案されているが、これは高齢者のスキルを形式知化し、それをデジタルメディアの中で仮想化し、需要に適合した労働力として再構成しようというものである。ここでもっとも重要な概念はクラウドソーシングであり、高齢者をデジタルメディアで包み込むことにより、社会のニーズに合致したバーチャルな労働者をアバタとして合成する。アバタは広義に解釈されており、もっとも現実世界に近いアバタがロボットであり、ロボット技術はサイバーフィジカルの実現手段として期待される。

（7）認知発達ロボティクス

将来人間社会に導入されるロボット達は、日本に代表される高齢社会の中で、物理的な作業支援に加え、コミュニケーション能力に付加されるべく情緒的な相互作用能力が望まれるが、これは、人間自身の認知発達の過程を理解することなしには、実現が困難である。人間の認知発達過程の理解を目指して、脳神経科学、認知科学、心理学、社会学など、多くの科学分野が

挑戦しているが、一つの分野で完全な理解の達成は非常に困難と考えられる。そこで、逆にロボットなどの人工物を駆使した構成的手法、すなわち認知発達ロボティクスと呼ばれるアプローチが注目を浴びている。

認知発達ロボティクスとは、理解の対象となる人間の発達モデルを人工物の中に埋め込み、環境の中で作動させ、その挙動から、発達モデルの新たな理解を目指すものである。核となるアイデアは、物理的埋め込み（身体性）と社会的相互作用で、それらは、他者を含め環境との相互作用を通じて、情報を構造化する。発達の諸様相は、埋め込みの内部発達メカニズムと、養育者が大きな要素となっている環境との相互作用の経緯ならびに結果と考えられ、当然のことながら相互に密に関連する。ただし、それらがどのような関係なのかは明らかでない。単一の機構による機能創発過程の様々な視点からの現象としてとらえるのか、複数の機構による相互作用としてとらえるのか？これは、どのレベルに焦点を合わせるかといった見方の違いだけなのか？この問題に対して、人工的なシステムを構築し、作動過程を通じて検証したり、新たな解釈を提供しようとしたりするのが、構成的手法であり、特にヒトの認知発達に焦点を当てたのが「認知発達ロボティクス」である。

認知発達ロボティクスの焦点は、自律エージェントが環境との相互作用を通して、世界をどのように表現し行動を獲得していくかといった、ロボットの認知発達過程にある。特に、環境因子として他のエージェントの行動が自分の行動をどのように規定していくかという過程の中に、ロボットが「自我」を見出していく道筋が解釈できるのではないかという期待がある。知的行動を人間のレベルで求めるので、人間以外の動物にも可能な連合学習から、人間特有のシンボル生成／利用の記号学習、すなわち言語獲得に至る過程（言語創発）が、ロボットの内部構造と外部環境の多様かつ制約的相互作用の中に見出されなければならない。このようなヒトの認知に関する研究は、従来、認知科学、神経科学、心理学などの分野で扱われてきた。そこでは、説明原理による理解を目指しており、認知発達ロボティクスが志向する設計原理に基づくものではない。しかしながら、人間理解という共通基盤をもとに、工学的アプローチからは、「システム構成による仮説検証や新たな認知科学的仮説の生成」が、認知科学、神経科学、心理学などの分野に提案され、逆に、これらの分野から、「システム構成への仮説」が工学的アプローチに提案され、相互フィードバックによる認知発達モデルの構成と検証が可能である。それが認知発達ロボティクスのひとつの理想形である。

コラム 4-12

～社会に課題を求め、社会での解決を探り、必要なロボティクスを創り、育て、社会に定着させる新しいロボティクスの創出～

福島第一原子力発電所事故に際しては、日本のロボットは米国のそれに比して初動において遅れをとった。一方、iPodやスマートフォンに代表されるように、日本は、ウォークマンや携帯電話という先駆的な試みをもちながら、その後の世界展開に禍根を残す結果となっている。また、ロボット先進国といわれながら最近の欧米のロボットと比較してみると、日本のロボットは、残念ながら存在感、迫力に欠ける。何が問題なのであろうか？

社会に課題を求め、社会における解決を見出し、それを可能にする科学技術を創出し、社会に定着させる一貫した、しかも、世界をみすえた、変化に対応して自らをタイムリーに変えてゆくたゆまざる取組に欠けていたのではないだろうか？このコラムでは、このような一貫した取組を特徴とする新しいロボティックス分野を『コミュニティ共創ロボティクス』と総称して、その姿を明らかにしたい。

コミュニティ共創ロボティクスは、ロボット研究者と社会を構成するコミュニティメンバーとの共創により創成される点にその特徴がある。生活分野の社会共創ロボティクスは、地域コミュニティを構成するNPOやサービス業者、市や県や国の関連機関、ロボットメーカ、金融、マスコミとロボット研究者より構成される生活コミュニティによって共創される。その一方、災害対応コミュニティ、交通コミュニティ、生産コミュニティにより、対応分野の社会共創ロボティクスが共創される。

コミュニティ共創ロボティクスは、広い意味でのセンシング、プラニング・アクチュエーションより構成される。コミュニティ共創ロボティクスで特徴的なセンシングに、コミュニティのセンシングやコミュニティを構成する人の活動センシングがある。特に、センシングが広域性をもつ社会センシングは、新しい領域である。このような社会センシングデータは、大量、広域性を特徴とするいわゆるビッグデータとなる。社会ビッグデータの構築法やそのクラウド化が、センシング関連技術として確立されなければならない。

コミュニティ共創ロボティクスにおけるプラニング・アクチュエーションでは、センシングデータに基づいたコミュニティやその構成員の分析と構造解明が科学として可能であり、そのための情報処理技術としての社会データマイニングとともに、その結果に基づいて、コミュニティをデザインしたり、人々の活動をデザインするセンシング・プラニングの新しい研究領域が形成される。つまり、コミュニティが求めるサービスやロ

ボットを、広域視点からデザインし実現する技術が求められる。社会サービスのデザイン理論、アクチュエーション理論の構築などを確立することが最終的に求められる。一方、アクチュエーションの効果を評価することも重要であり、社会効果を評価するための脳機能評価や社会学的評価技術や、脳機能評価の知見、生活機能評価の知見の集積が求められる。

あえて、誤解を恐れずに表現するならば、これまでのロボティクスは、機械としてのロボットを動かす学問領域であったのに対し、コミュニティ共創ロボティクスでは、社会やコミュニティやそのメンバーを動かすロボティクスであるといえる。

コミュニティ共創ロボティクスにより、現状の社会やコミュニティの課題は、常時、タイムリーに抽出され、その研究によりコミュニティが定量的に把握解明されることになる。社会コミュニティが必要とされる支援や機能が、全世界を視野に入れたロボットによって実現されること、さらに、これらの活動が、情報時代の新しい家族やコミュニティのありかたとして社会に定着することがコミュニティ共創ロボティクスの効果として期待される。形と動きを有するロボットや人間が研究対象となっている点が、単に情報処理のみを対象とする情報研究とは異なる。

佐藤 知正（東京大学 フューチャーセンター推進機構　RTイノベーションコンソーシアム）

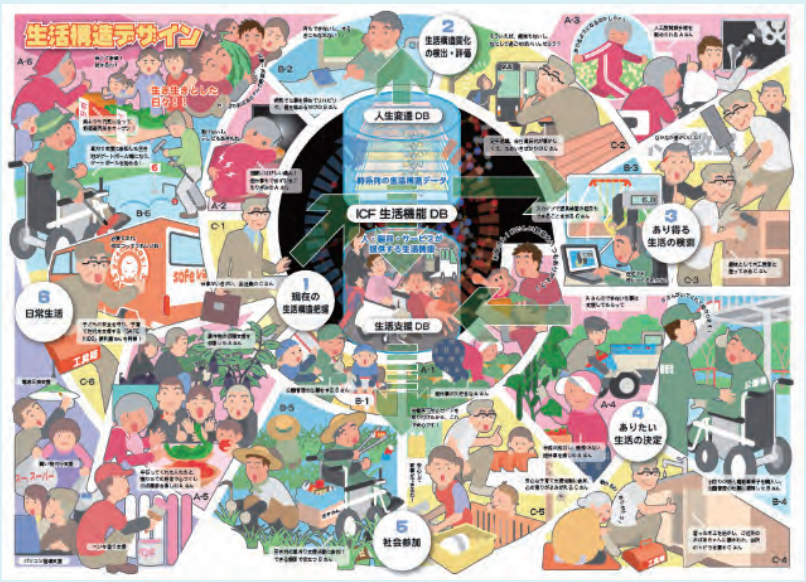
コラム 4-13

～生活機能変化適合社会のための生活デザイン・エコシステム～

子ども、女性、高齢者、障害者といった多様な機能変化がある人々が、生活を適切にデザインすることで、安全に生活でき、その能力が最大限引き出される「生活機能変化適合社会」の創造が求められている。機械の設計（デザイン）の場合には要求機能に応じて、様々な機構・モジュールを組み合わせることで設計されるが、これと同じように、私たちの生活の場合にも対応すべき生活機能の変化に応じて、支援モジュールを統合することで生活をデザインする新たな方法論が求められている。しかし、今のところ、誰しもが経験し得る生活デザインの問題の解決を支援してくれる産業や科学技術は未整備であり、個人の努力に委ねられているのが現状である。

図表1は、本研究で目指す社会「生活機能変化適合社会」における生活デザインサイクルを書いたものである。**図表1**は、何らかの生活機能低下が生じた際に、それを検出し、世界保健機関の提唱する生活機能モデル（ICF）に基づいて記述・蓄積された他の人の生活のデータベースを活用することで、ありえる生活の提示、ありたい生活の選択支援、生活支援ロボットモジュールの統合によるありたい生活の実施、その評価を通じた持続的生活改善によって、社会参加の質が高まっていく循環プロセスを示している。

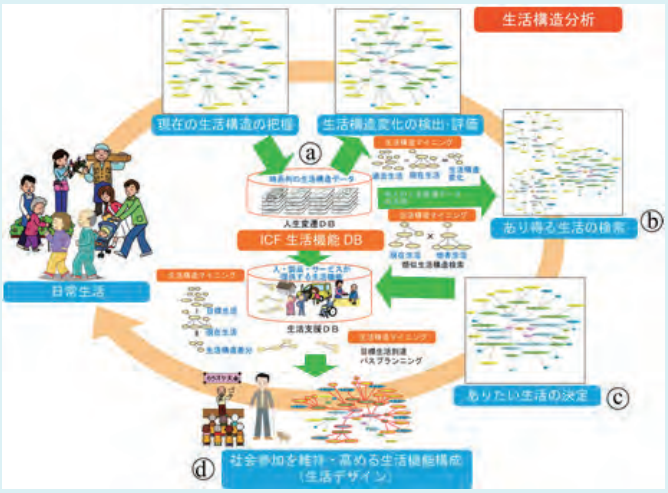
図表1　生活機能変化適合社会のための総合的生活デザインサイクル



生活機能モデル（ICF）とは、1）手足の動作や計算などの心身の機能、2）食事・排泄・歩行など基本的活動を行う機能、3）それらが組み合わさって可能となるレジャー、家事、仕事などの社会参加のための機能に関する分類を指し、この生活機能という切り口によって、生活で必要となる機能や、生活の中で実際に使われている機能を幅広く整理することが可能となる。

生活デザインの科学的アプローチの中でも、強力になりえるものが、生活現象を扱う数理体系そしてそれを計算機の上で扱うための計算理論の開発を通じたアプローチである。生活現象という集合に何らかの位相（構造）を入れ幾何学化することができれば、解析可能な体系を構築することが可能である。最近、ICFのコード体系を用いて、リハビリテーション病院、老人ホーム、住宅改善事業者、消防庁などの持つ事故データ、保健師などによる生活調査データなどの様々な生活データを表現し、グラフ構造として記述することで数理的に取り扱える体系（生活幾何学）構築の試みも始まっている。

図表２　生活デザインのための生活幾何学的アプローチ



生活機能変化適合社会の実現には、新たな生産システムが必要となる。これまでの消費者購買行動フィードバック型大量生産方式だけでなく、健康で安全な生活を実現する生活者行動フィードバック型柔軟生産方法が求められる。生産技術の観点からは、文字通り一品生産を含めた多様な量の生産を可能とする完全無人化工場（ロボティクス工場）や 3D プリンタなどの生産技術が利用可能になりつつある。一方、生活者理解技術の観点からは、生活者の地域生活を大規模データから、生活幾何学的アプローチなど何らかの情報技術を援用することで知識化し、生活者起点の生産に役立てる知識循環の仕組みも可能になりつつある。

このような技術背景は、生活者、強力な情報処理技術・ロボット技術を援用可能にする技術や仕組みの導入、柔軟な生産システムがうまく連携することで、多様な生活機能を持つ生活者に手早く、きめ細かく対応しつつも、産業として成立させることのできる新たなエコシステムの実現可能性を示唆している。

西田 佳史（産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター）

4.3. 推進施策・関連法令

4.3.1. 国の主な推進施策（各府省庁等の取組と役割）

我が国では、国等が率先してロボットやロボット技術（Robot Technology、RT）またはそれらの要素技術の研究開発や実証、社会実装を推進することを通じて、我が国の国際的な貢献をも視野に入れた技術水準の向上、ビジネス環境の整備、安全・安心でレジリエントな社会の構築等を図ることを目指している。これらの取組として、世界のトップを目指した先端的な研究の推進、今後の我が国の国富拡大や国際的な競争力とプレゼンスを担う新たな産業の創出・育成、国際標準化への貢献等について、政府全体の政策的方針や計画、総合科学技術会議における議論等に基づき、各府省庁の政策的意図に応じた様々な取組が進められている。

（1）最先端研究開発支援プログラム

例えば、世界のトップを目指した先端的研究を推進することにより、産業、安全保障等の分野における我が国の中長期的な国際的競争力、底力の強化を図るとともに、研究開発成果の国民及び社会への確かな還元を図ることを目的とした、「研究者最優先」の研究支援制度として「最先端研究開発支援プログラム（FIRSTプログラム）」が創設されている[1]。

このプログラムは、総合科学技術会議における検討を通じて平成21年度に創設されたものであり、例えばロボット関係では、筑波大学大学院システム情報工学研究科の山海嘉之教授によって、ロボットスーツ等を人間の思い通りに動作できるよう高度化させ、リハビリや高齢者の生活支援等に応用する研究が進められている。このプログラムは、ロボット関係以外でも、例えばノーベル賞を受賞した田中耕一氏（株式会社島津製作所田中耕一記念質量分析研究所／所長）や、山中伸弥氏（京都大学物質-細胞統合システム拠点iPS細胞研究所／所長）の研究が進められており、我が国を代表する研究者を対象として、研究者が研究に集中できるサポート体制や多年度で運営できる研究資金など、「研究者最優先」を特徴とした研究支援制度である。この制度は平成25年度をもって終了することから、平成26年度からの新たな制度設計に向けて、総合科学技術会議の「最先端研究開発支援推進会議」において「革新的研究開発推進プログラム（仮称）」に関する検討が、アメリカのDARPA（Defense Advanced Research Projects Agency：国防高等研究計画局）のモデルを参考に進められている[2]。

（2）ロボット介護機器開発・導入促進事業

経済産業省の主な施策としては、平成25年度から5年間にわたり、「ロボット介護機器開発・導入促進事業」（図4-22）が進められていることがあげられる。この事業では、(1) 現場のニーズを踏まえて経済産業省及び厚生労働省が重点分野を特定（ニーズ指向）、(2) ステージゲート方式による研究開発によって使い易さ向上とコスト低減を加速（安価に）、(3) 現場に導入するための公的支援・制度面の手当て（大量に）をコンセプトとして、経済産業省と厚生労

働省が共同で策定・公表した「ロボット技術の介護利用における重点分野（平成24年11月、平成26年2月3日改訂公表）[3]」のロボット介護機器の開発・導入の支援を行うことにより、要介護者の自立促進や介護従事者の負担軽減を実現し、ロボット介護機器の新たな市場の創出を目指した事業である。

図4-22　「ロボット介護機器開発・導入促進事業」と重点分野

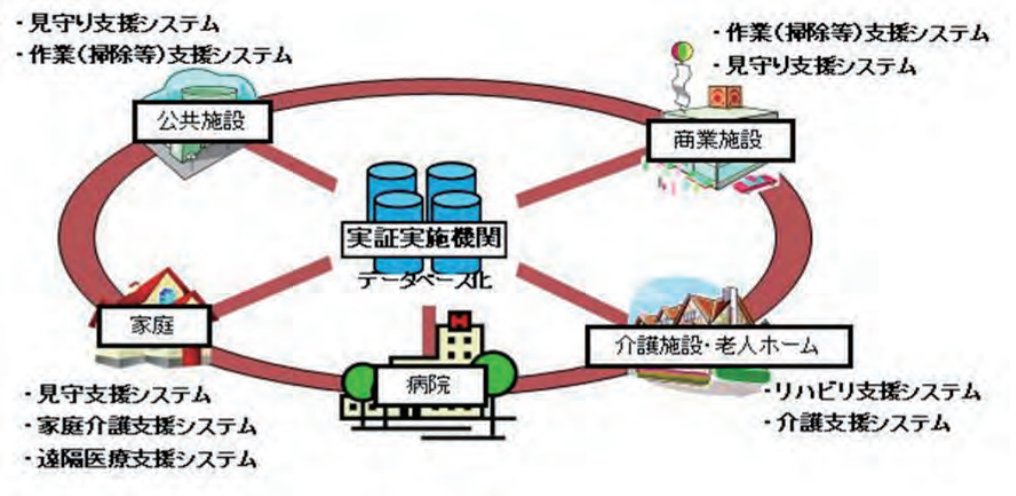
（出典：経済産業省）

（図4-22）の「ロボット介護機器開発・導入促進事業」は、重点分野のロボット介護機器の開発・実用化を促進するため、製品化の意思を持つ企業等への「開発補助」と、重点分野のロボット介護機器の実用化に不可欠となる実証プロトコル確立のための研究や、機能や部品等のモジュール化や標準化の「委託研究」を実施している。さらに本事業と並行して、経済産業省、厚生労働省、NEDO、（公財）テクノエイド協会が合同で「ロボット介護機器開発パートナーシップ（事務局：NEDO）」を組織しており[4]、同パートナーシップを通じて、介護機器の利用者・介護現場等のニーズの把握や機器メーカとのマッチングを図るとともに、行政からの開発に資する情報提供や参加企業等の声を集めてロボット介護機器の開発・実用化のための施策に反映することなどによって、課題解決先進国とも言われる我が国として、超高齢社会における介護者の自立促進や介護従事者の負担軽減、ロボット介護機器に係る新たな市場の創出や産業競争力の強化等を目指している。

A）環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト／生活支援システムの国際研究開発・実証事業

また、経済産業省とNEDOでは、高齢化や生活水準の向上に伴う健康志向の高まりは世界的な趨勢でもあり、今後、医療、介護、健康、福祉等の生活支援関連産業の高い成長が期待されるとの認識のもと、我が国企業が強みを有するロボット技術を中心とした研究開発・実証を、海外の現場のニーズを反映しつつ主に相手国にて実施し、相手国から我が国技術の有効性等の理解を得ることにより、我が国の当該分野における技術水準の向上に加え、海外展開や市場化の促進等を図ることを目的として、「環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト」（平成24年度～平成27年度、図4-23）を実施している。

図4-23　環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト／生活支援システムの国際研究開発・実証事業



（出典：経済産業省）

この事業の一環として、経済産業省とNEDOは、CYBERDYNE（株）の「ロボットスーツHAL®」を利用して、脊髄損傷や脳卒中など脳・神経・筋系の患者を対象とした研究開発と実証試験をドイツのノルトライン＝ヴェストファーレン州と協力して進めている。また、「デンマークにおける生活支援ロボットを活用した介護サービス提供に係る国際研究開発及び実証事業」の実施検討も進めており、我が国が得意とするサービスロボットに係る技術とそれをベースとした木目細かいソリューションサービスをパッケージさせた海外における新たな用途展開、利用効果の検証、国際的な市場開拓や貢献などが期待される。

（3）その他の事業

笹子トンネル天井板落下事故（平成24年12月）等、近年の社会インフラの老朽化と保守管理、技術者の高齢化と技能伝承などの社会問題や、東日本大震災と原子力発電所の事故等を通じて一層高まった安全・安心でレジリエントな社会の構築を求める国民的な意識が強まる中で、「科学技術イノベーション総合戦略」（平成25年6月閣議決定）や「日本再興戦略」（平成25年6月閣議決定）などを踏まえて、国土交通省と経済産業省が合同で「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を設置し、NEDO、独立行政法人産業技術総合研究所（AIST）、独立行政法人土木研究所とともに、「維持管理・災害対応（調査）・災害対応（施工）」の3つの重要な場面におけるロボットについて、その開発・導入分野を明確化するなど実用化に向けた方策の検討を進めるとともに、経済産業省及び国土交通省が「社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」を策定している[5]。

文部科学省の施策としては、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金／科学研究費補助金）による競争的研究資金や、「大学間連携共同教育推進事業」などの施策を通じたロボットの研究があり、総務省の情報通信関連の取組として、「ライフサポート型ロボット技術に関する研究開発（平成21年度～平成24年度）」を進めてきたほか、「脳の仕組みを活かしたイノ

ベーション創成型研究開発（平成23年度～平成26年度）」や「災害対応ロボット・機器向け通信システムの技術的条件」（諮問第2034号）等がある。

4.3.2. ロボット化産業とソリューションサービスビジネスのための社会的制度

ロボット技術、ひいてはロボットそのものが、製品、インフラ、サービス、生活シーンや環境などに組み込まれ、私たちの社会に身近な存在になった場合、それらがなかった環境とは異なる様々な課題が顕在化することが予想される。そして、これらの課題を克服し、社会を住みやすく、人類にとってより良い環境に導くべく、私たちは社会的制度（法令・条約、専門資格、標準・規格、保険、倫理審査、表彰制度等）を整備することで、技術が社会にもたらす負の影響とのバランスを保っているといえる（図4-24）。

ロボットやロボット技術を用いてソリューションサービスビジネスを展開したり、生活や社会そのもののロボット化、情報・知能サービス化したりする場合にも、同様に様々な社会的制度の中でそれらを展開することが必要となる。また、ロボット技術が発展し、その社会実装が進みはじめた今日、これまでは必要なかった新たな社会的制度が必要となることも考えられることから、私たちは、遠くない将来の問題としてロボットやロボット技術と社会的制度の在り方や将来像についても考え直す時期に来ているといえる。

以下に、ロボットやロボット技術と関連する社会的制度について概説する。

（1）主な社会的制度

ロボットやロボット技術と関連する社会的制度を分類すると、以下のとおりとなる[6]。

①法令等関係

a. 個別技術に対応した法令等を整備することによって社会を維持する制度（例：自動車の自動運転と道路交通法や道路運送車両法、情報技術と不正アクセス禁止法や個人情報保護法、医療技術と薬事法、高度な技術を扱う専門的な資格制度、認証など）

b. 消費者等を守る観点から法令等を整備することによって社会を維持する制度（例：製造物責任法〔PL法〕、電気用品安全法、消費生活用製品安全法、家庭用品品質表示法、消費者契約法等に加えて、製品の複雑化や無秩序化、不公正性等を回避し、消費者の利益を確保するための標準やその認証など）

②安全保障の観点から必要とされる法令や条約等

（例：ワッセナー・アレンジメント、武器輸出三原則等、外国為替及び外国貿易法など）

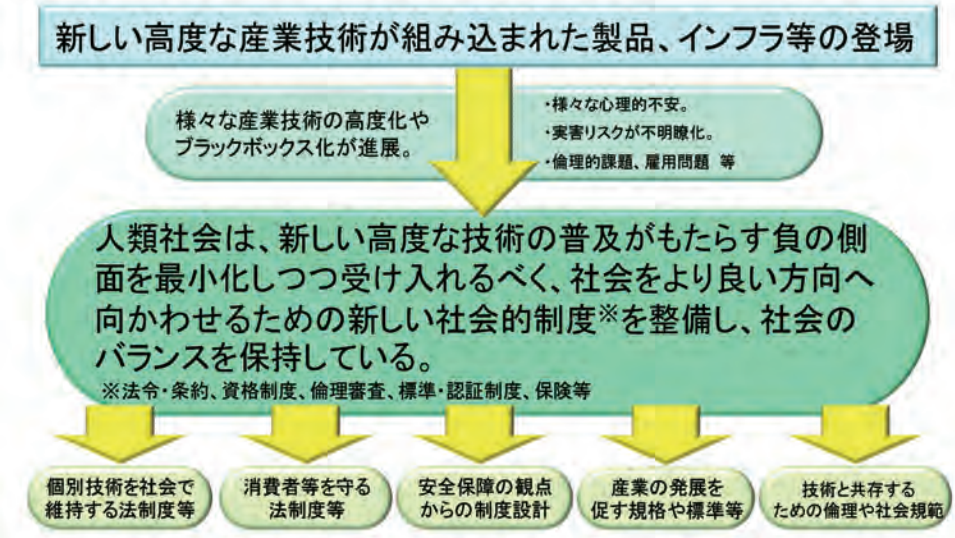
③産業の健全な発展を促す規格や標準

（例：対人安全性、各種の機能や試験方法、技術の種類や分類、インタフェース等に関する規格）

④人間らしく技術と共存していく倫理や社会規範

（ロボットやロボット技術がもたらす事故、損害等に関する責任や影響、普及がもたらす雇用の問題やモラルハザード、全自動化された社会が人間にもたらす影響、ロボットが限りなく生物や器官等に近い機能を持つようになった場合のロボットとの向き合い方など）

図4-24　産業技術の普及と社会的制度等



（出典：NEDO作成）

（2）主な関係法令

「ロボット」と聞いて、読者の方々は何を思い浮かべるだろうか。アニメのヒーロー、映画に出てくる侵略者、細かい作業を黙々と高速でこなす産業用ロボット、人が近づけない事故や災害の現場、深海、宇宙空間などで働く作業機械など、人によって大きく異なることだろう。サービスロボットに関わる法律を考える場合、その特徴として、いわゆる「ロボット」に対する概念的理解が統一されておらず、ロボットは極めて社会的に幅広い意味を有することがあげられ、一般市民としての老若男女、研究者や技術者、国によっても「ロボット」に対するイメージは異なっている。このことが、いわゆるロボットと呼ばれるもの全体に対する包括的な法的定義を厳密に規定することを困難にしている原因といえる。そして当然、ロボットやロボット技術を社会に導入、実装しようとする場合、まずは他の技術と同様にそのロボット等が関連するであろうあらゆる既存の法令等に適合することが要求される。さらにその法令等が、本来は自由であるはずの自由経済主義の国家において、技術水準の進歩や現実的な社会経済情勢、善良な国民の生活、既存の法律等に照らしてそぐわない、またはそぐわなくなるであろう、ひいては国益等にもそぐわない、との解釈が認識しうる場合に、法律の改正や特区の認定、新たな法律の制定などが求められることになる。

ここでは、近年普及が求められているいくつかのロボット技術に関連する法令等を例示的にあげつつ、その関連性についての一般論を述べていくが、厳密な法律解釈や判例等は、専門の弁護士や監督官庁、最終的には当然ながら司法にその判断を委ねることが必要である。

A）法令関係

a）個別技術に対応した法令等を整備することによって社会を維持する制度

イ）自動車の自動運転と道路交通法や道路運送車両法等との関係について

道路交通法（昭和35年公布）では、「自動車」の定義として、「原動機を用い、かつ、レールまたは架線によらないで運転する車であつて」と規定（第2条第九号）されており、「運転」の定義として、「道路において、車両（略）をその本来の用い方に従つて用いること」と規定（第2条第十七号）されている。また、よく郊外の公道でも歩行補助車（電動車いす）を見かけるが、これは、道交法施行規則第1条により6km/hを超えないものとなっている。道路運送車両法（昭和26年公布）によると、「自動車」の定義として、「原動機により陸上を移動させることを目的として製作した用具で軌条若しくは架線を用いないもの（略）であつて、（略）原動機付自転車以外のもの」と規定（第2条第2項）されている。これらのことから、一般的には、いわゆるレールなどによって走行の位置や方向等が決められておらず、移動のための車輪を有するものと想像されるが、ここで、この話をロボットに置き換えた場合、陸上用のホバークラフト型のロボットや低地飛行するロボットについて、これらの法律上はどの様に解釈されるのかという問題が生じる。また、「運転」については、道路交通法では、「道路において、車両（略）をその本来の用い方に従つて用いること」と規定（第2条第十七号）され、「車両等の運転者は、（略）ハンドル、ブレーキ（略）を確実に操作し、（略）運転しなければならない」と規定（第70条、安全運転の義務）されていることから、運転者が乗車しない状態の遠隔操作、近くの車両や道路施設等からの制御、車両等自身による自律的な自動運転等はどの様に考えるべきかという疑問が生じることになる。

ロ）飛行ロボットと航空法等

航空法（昭和27年7月公布）によると、「航空機」とは、「人が乗つて（略）航空の用に供することができる機器」と規定（第2条）されていることから、同法はそもそも、「人が乗る」ことを前提とした法規定になっている。つまり、現行の航空法において航空機は有人飛行を想定したものであり（逆に言えば、無人操縦であっても人が乗れるものは航空機になる）、無人の飛行体に係る規定はなく、無人飛行ロボットのビジネス運用には、後述するような各種関係法令に従うことが求められる状況である。さらに航空法には、操縦者の見張り義務（第71条の2）によって、「（略）航空機の操縦を行なつている者は、航空機の航行中は、（略）他の航空機その他の物件と衝突しないように見張りをしなければならない」とされているほか、航空機製造事業法（昭和27年公布）上の「航空機」の定義（第2条第1項）に係る同法施行令第1条には、「（略）航空の用に供することができる機械器具は、（略）"**構造上人が乗ることができないもの**"（注：無人機のこと）のうち、総重量が**150kg以上のものとする**」という「150kg規定」も存在している（平成26年3月に航空機製造事業法施行令の対象が100kg以上から150kg 以上に改正されたことにより、農業（農薬散布、播種）での利用拡大や観測機等の無人機開発の促進が期待されている。

また、無線で飛行することを想定すれば、当然、「電波法」との関係にも注意が必要となる。電波法では、「無線局を開設しようとする者は、総務大臣の免許を受けなければならない。ただし、（略）発射する電波が著しく微弱な無線局で総務省令で定めるもの（略）についてはこの限りでない」（第4条、無線局の開設）と規定しつつ、電波法施行規則で「免許を要しない無線局」により「電波が著しく微弱な無線局」として電界強度（電波の強さ）が「当該無線局の無線設備から（略）メートルの距離において、（略）以下であるもの」と制限している（第6条、免許を要しない無線局）。

電波法に関連する関係法令（**表4-1**）、規定は広範かつ重層的であり、法条文のみから具体的な事例や規制内容を理解することは初心者には困難な面もあるが、規制内容や根拠規定、条文構成等について身近な具体例を交えて分かりやすく解説している資料が総務省ウェブサイトや（一社）電波産業会等から多々公表されているので必要のある方は参照されたい。

なお、本項に関連する疑問として、警備や監視、農薬散布、物資輸送、架線工事、撮影・観

表4-1　電波に関する主な法令

法律	電波法
政令	無線従事者操作範囲令、電波法関係手数料令
省令	電波法施行規則、無線局免許手続規則、無線設備規則、無線従事者規則、無線局運用規則、無線局（基幹放送局を除く。）の開設の根本的基準など

測、各種施設の点検や災害対応等に用いることができる産業用の無人飛行ロボット（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）についての法的な取扱いはどの様に考えるべきであろうか、という点に触れておきたい。当然、飛行場の周辺等では飛行可能な区域がおのずと限られ、さらに電波法への対応も求められることはいうまでもない。衝突や落下に伴う安全性の問題やプライバシー、騒音等の問題を考えれば、公道上（上空）を無制限に飛行させてよいとは考えられないだろう（各自治体にはこれらの行為に係る迷惑防止条例がある場合もある）。

「輸送の安全の確保」や「利用者の利便の増進」、「航空の発達」（第1条）を図るための航空法がある一方で、我が国には、研究面では例えば、セコム（株）の自律型小型飛行監視ロボットやJAXAの自動操縦型無人飛行ロボット、千葉大学野波健蔵教授らによるマルチローターヘリコプターなど、ロボット技術としての機能安全技術、自動制御技術、認識技術等の多くの技術を有している（参考情報であるが、例えば、北海道大樹町のウェブサイトでは、同町の取組や同町が受け入れている各種の航空宇宙関連技術の屋外実験が紹介されており、この北海道の一自治体のウェブサイトから大学等の研究や国家レベルでの最新の取組の一端が垣間見えるので、大変興味深い。）。統合したシステムとしての無人飛行機関連ビジネスの発展には、さらなる関係省庁、業界等による検討が必要であり、実際の運用に際しても、使用目的や用途、使用場所によって無人飛行機の種類やサイズ、近隣への影響等が異なり、安全に使えて便利になるための信頼性も必要となることから、今までにない法規制、安全性等に係る課題の検証が必

要となるであろう。日本産業用無人航空機協会（JUAV）では、正会員に対する機体性能確認等の安全基準に記載されている各種検査を行っている[7]。

b）消費者等を守る観点から法令等を整備することによって社会を維持する制度

イ）製造物責任法（PL法）

PL法は、「（略）被害者の保護を図り、もって国民生活の安定向上と国民経済の健全な発展に寄与すること」（第1条）を目的とした法律であり、製造物に「欠陥」があるときに，製造者に損害賠償義務を負わせる法律である。メーカにとって、この「欠陥」には、「設計上」「製造上」「指示警告上」の欠陥が考えられるが、これらの概念はロボット等を社会に実装しようとする場合にも当然考慮されるべきこととなる。グローバルな経済と競争環境が浸透し、世界各国での調達・製造・販売や、産業エコシステムとも言われる、関係する企業等との国境を越えた最適かつ柔軟な連携が求められる中で、ますます重要になる法律であろう。メーカ側の立場からすると、上記の「欠陥」に係る3つの概念に対応すべく、設計・製造の両段階において製品全体の安全を図り、それを正しく使用する場合や、想定される誤った使用方法に対する注意を促し、欠陥が無いことの証明が求められることになる。

なお、我が国では比較的注目され、浸透しているPL法だが、その訴訟件数は米国等と比較して決して多くないとのデータがある[8]（「ロボペディア」というウェブサイトにおいて専門家が解説している資料〔講演スライド〕が掲載されている）。技術や品質管理面での対応が整っていたとしても、過度にPL法を恐れるあまり市場投入に躊躇すれば、ビジネスチャンスを失うことにもなりかねない。

B）安全保障の観点から必要とされる法令や条約等

交通・物流や情報通信のネットワークが世界中で発達し、情報やデータ、物品が素早く世界中を移動する一方で、国際的な紛争やテロが頻発する国際社会において、兵器等の拡散、安全を脅かす物品の流通を国際的に規定している枠組みが存在する。外国為替及び外国貿易法による輸出規制、ワッセナー・アレンジメント（Wassenaar Arrangement：WA）、原子力供給国グループ（NSG）、ミサイル技術管理レジーム（MTCR）、武器輸出三原則等が該当する。特に、外国為替及び外国貿易法による輸出規制については、国境を越えて研究開発やビジネスを展開する研究者や技術者、時には一般市民にも関係するため、経済産業省はウェブサイト等を通じて詳しい資料を提供している[9]。また、外為法や関税法等に基づく輸入規制、外為法以外にも、日本国内に持ち込まれるものであれば各種の国内法に適合する必要がある。さらに輸出元（海外）から輸出する際にはその国の法律等に従うことはもちろんのこと、米国の「再輸出規制（EAR）」を考慮する必要が出てくる場合もあるので注意が必要である。

C）安全安心と産業の健全な発展を促す規格や標準（例：対人安全性に関する規格）

ロボットの使用者や管理者に一定の技能や知識、経験が見込まれ、使用する場所や方法、管理等に関する規制やルール、ヒヤリハット情報の収集等について、組織的な対応が期待できる産業用ロボットと異なり、一般の家庭での使用が想定されるサービスロボットは、様々な使用者、使用環境、ヒヤリハットの状況等が考えられ、そもそも人と日常的に近接して稼働することが想定されることから、使用者等に対する安全技術に関する水準の向上や知見の蓄積、安全に関わる情報の共有化や標準化が、国内外の使用者を対象とした安全・安心と産業の健全な発展、または我が国の産業競争力の強化にとって特に重要となる。これまでに無い新たな、かつ、高度な知見の蓄積とその知見を活用した規格化・標準化、さらにはそれらの知見の積極的な国際的な標準化を図ることによる国境を越えた安全・安心の実現やグローバルビジネスの活性化等への貢献が求められている。高い水準で安全性を求める我が国の国民性が、逆に我が国で蓄積された安全性に関する技術的な知見等をベースとした世界的な安全・安心社会の実現や、単なるロボットサービスビジネスではなく､安全性を担保する制度と組み合わせた市場展開など、グローバルなビジネス展開の活性化等にも役立つ可能性もある。

我が国では、ロボット技術の急速な発達により、近い将来に人間とロボットが共存・協調する状況を見据えて､「次世代ロボットの安全性確保ガイドライン」（平成19年7月、経済産業省）が制定された（ロボット法やロボット保険などのロボットに係る包括的な社会的制度がここまではあまり存在していなかった点で先駆的な例といえる）。このロボット安全技術を高めていく動きは、経済産業省を主体とした「ロボット産業政策研究会」の報告書（平成21年3月）に受け継がれており、さらにはNEDOの「生活支援ロボット実用化プロジェクト」（平成21年度～平成25年度）や平成22年度の「生活支援ロボット安全検証センター」の設立、最近では「科学技術イノベーション総合戦略」における「生活支援ロボットの安全に関する認証制度整備と国際標準化（2015年）」､「ロボット介護機器開発・導入促進事業」などにも受け継がれている。さらに「サービスロボット」に係る安全性に関する規格として、「Personal care robot」の国際安全規格「ISO 13482：Robots and robotic devices - Safety requirements - Non-medical personal care robot」が発行（平成26年2月）されている。これらの動きのベースには、上記の「次世代ロボットの安全性確保ガイドライン」においてまとめられた様々な提言等に加えて、NEDOの「生活支援ロボット実用化プロジェクト」を活動母体として産学官から結集した我が国最先端の専門家チームによるISO/TC184/SC2/WG7への積極的かつ継続的な提案と議論への参加が行われた（日本がドイツとともに先導役を果たした）ことが貢献している。さらに正式な国際標準（IS）化の動きを先取りする認証に係る取組の例として、NEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の成果を用いてCYBERDYNE（株）が、（一財）日本品質保証機構（JQA）から「ロボットスーツHAL®福祉用」に対する国際安全規格ISO/DIS13482（DISとは国際標準ISのドラフトの意味）に基づく世界初の認証と認証書の発行（平成25年2月）や[10]、欧州域内で医療機器として流通・販売できる「CEマーキング」の取得を、第三者認証

機関テュフ ラインランド（TÜV Rheinland LGA Products GmbH：ドイツケルン市、日本支社：横浜市）からいち早く受け[11]、さらにISO13482の正式な発行（2014年2月1日）以降も、NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクトの成果を用いて、パナソニック（株）のフルリクライニング車いす付きベッド「リショーネ®」と、（株）ダイフクの配送センター内高速ビークル（無人搬送車）の安全技術「エリア管理システム」が、ISO13482の認証を世界で初めて取得[12]するという一連の成果につながっている。人と寄り添って機能するサービスロボットの普及を見据え、その安全技術にいち早く着目し、開発と普及のための産学官の叡知の結集による長期的で一体感のある政策的な取組が具体的に目に見える成果として結実、奏効した例と言えよう。

コラム 4-14

～CE（欧州適合）マーキングについて～

CEマーキングとは、欧州連合（EU）地域の市場に流通される指定製品（医療機器など）に貼付を義務付けられる基準適合マークのことで、「EU指令」の必須安全要求事項（ESRs：Essential Safety Requirements）に適合したことを示す。

テクノロジーが世界中で流通するには、国際規格を満たす必要がある。我々は、2009年にNEDOの「生活支援ロボット実用化プロジェクト」で、中核メンバーとしてこのプロジェクトを推進してきた。また、国際標準化機構（ISO）のメディカルロボットとパーソナルケアロボットの全ての規格策定会議にはCYBERDYNE社に加え筑波大学のメンバーも参加し、重要な役割を担ってきた。パーソナルケアロボットでは、ISO/DIS 13482 の最終バージョンが出来上がり、「HAL福祉用」は世界で初めてパーソナルケアロボットの国際認証（ISO/DIS13482）を取得した（2013年2月）。メディカルロボットでは、まず、医療機器として認証されるためには、医療機器をつくることができる医療機器品質マネジメントの認証が必要である。2013年1月18日、革新的ロボット医療機器「HAL」に対してUL（TÜV Rheinlandと双璧をなす世界最大級の認証機関）から、医療機器の国際品質マネジメントシステム規格「ISO 13485」をCYBERDYNE社が取得した。

さらに、医療機器を製造し、ヨーロッパのEU域内へ輸出するには、EU全体の法規制である「EU指令」の要求事項に適合させ、製品にCEマーキングを表示することが必須である。CEマーキングは、第三者機関による認証と、自己適合宣言で良い場合の

2種類があり、単純な製品は自己適合宣言で良いが、「HAL医療用」のようにより高度な医療機器の場合は第三者による認証が必要となる。また、「EU指令」は分野毎に22種類の指令があり、「HAL医療用」の場合は医療機器指令（MDD：Medical Device Directive）の他、複数の指令に適合される必要があった。CEマーキングの取得には、製品開発、非臨床試験、臨床試験の精緻なデータがセットで必要である。このようなデータを基に2013年8月5日に世界最大級の認証機関　独TÜV Rheinland（テュフ ラインランド）社から第三者認証を得ると同時に、CEマーキングの取得宣言を行った。CEマーキングの4ケタの数字（「HAL医療用」はCE0197）は、「HAL医療用」が医療機器であることを示している。これを示すことで、ヨーロッパ全域で、「HAL医療用」の販売流通が可能となった。欧州で医療機器を市場に流通させるには、医療機器のCEマーキングの取得が不可欠であるが、パーソナルケアロボットに関しては、現在、医療機器のCEマーキングの取得は義務付けられていない。通常の製品と同様のCEマーキングで対応することになる。今後については、様々な意見があり、2013年現在では最終確定に至ってはいない。（2014年の早い段階で最終確定されるだろう。）

山海 嘉之（筑波大学大学院　システム情報工学研究科　サイバニクス研究センター／
CYBERDYNE株式会社）

D）人間らしく技術と共存していく倫理や社会規範

サービスロボットに関わる倫理問題や私たちの生活に不可欠な社会規範とロボットとの整合の在り方については、これまで様々な形態、機能等を有するサービスロボットが登場し、私たちの生活や社会に密接に関わりを持つことが想定される度に議論されてきた「古くて新しい」課題である。ここでは、それらの詳細な解説や学術的研究については省くこととし、サービスロボットの普及に際して、特に産業界（研究者、技術者、企業等）が直面すると想定される課題に関して、簡単な事例とともに概説する。

サービスロボットが私たちの日常生活に組み込まれ、それが普及した場合、様々な課題が発生することが予想される。例えば、

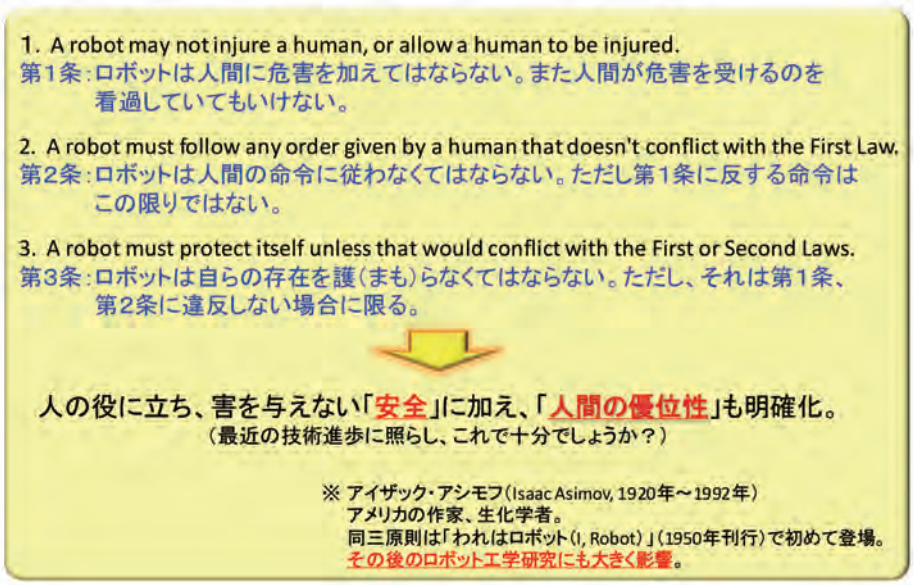
- ロボットがもたらす事故や損害等に関する責任所在の問題
- ロボットの普及がもたらす雇用の問題やモラルハザード（雇用喪失につながる問題、教育や介護等をロボットに任せたままにしておく問題等）
- 自動化が進んだ社会が人間にもたらす影響の問題（賃金を得る機会を生まない自動社会の問題、人間自身ができることが少ない社会における生きがいや幸福感の問題、機械が人間をコントロールする問題、自動車や食事補助、兵器などがロボット化された場合に自律化されるべき範囲の考え等）

• ロボットが人間、他の生物や器官等に非常に近い機能を持つようになった場合の人間とロボットとの向き合い方の問題（生物とロボットの境界線の問題等）

などが考えられる。

1950年に登場したロボット工学の三原則（図4-25）[13]を聞いたことがある方も多いと思う。この原則は、ロボットは人間にとって常に安全な存在であって、かつ、人間がロボットよりも常に優位に立つべきであること（人間の優位性）を示している。ところが、上述したようなサービスロボットの普及時に考えられる様々な問題を考慮した場合、これらはロボットがもたらす人間としての「社会規範」や「幸福」、「人間らしさ」等の問題と直結しており、「安全性」や「人間の優位性」という「人間と機械の主従関係」の概念を超えて、最早、技術の進歩と普及にともない顕在化するであろう、「人間社会における人間らしい幸福な生活や人生とロボットとの適切な共存の問題」、即ち「人間“性”の優位性」も考慮すべきであることに気づくだろう。

図4-25　ロボット工学の三原則とその意味



（出典：NEDO作成）

ロボットが人工知能や自律機能等を使って人に何らかの「はたらきかけ」を行う場合も、機械を「人の代替」「人に寄り添うパートナー」「人の能力を拡大、強化、創造するシステム」「安心・安全、快適・便利で愉快な社会や暮らしに変えていくシステム」として使う意思の本来的な持ち主は人間であるはずであり、機械は「ツール」であることに変わりは無い。「機械を使う」のが人間である以上、少なくとも人間らしい社会においては、法律や社会的道理、人間（や自然）に対する愛情や尊厳・敬意、理性、自らのアイデンティティに関連する民族・宗教的慣習等を守って「機械を使う（コントロールする）」ことが求められるであろう（極めて当たり前のことではある）。仮に、新しい技術の出現に対して、既存の適切な社会的制度が無い場合は、

この「主従関係」に則った、人と機械が「主従関係」を間違わないよう、新たな制度作りや環境整備が必要となるはずである。

サービスロボットのビジネスや産業の活性化を目指し、その国際競争が激化する今日、改めて「ロボット倫理」を語る時期にあると述べておきたい。というのも、科学技術立国・ロボット大国を標榜する我が国は、技術面だけでなく、サービスロボットのビジネス展開においても、「社会的制度の整備」「人間性、徳、倫理観」でも世界を先導すべきであり、そして、技術が発展していくにともない、それが社会で正しく使われるよう、研究者、技術者、企業、ユーザ等が具備すべき「高い意識」の涵養とのバランスを取っていくことが求められる。ビジネス展開においても、日本の社会的な制度設計、環境整備の取組の経験やノウハウを使って「ロボット技術と社会的制度の構築（ものごとづくり）」を「パッケージ」で海外展開できるはずである。人間性の領域に機械の機能が近づき、人間と機械・情報の主従関係が仮に逆転してしまった社会によって、科学技術や生活水準のみが向上しても、一方で豊かな人間らしさや人間どうしのつながりが社会から失われれば、人々の心は乱れ、ひいては国が廃れることにならないか。「人が人らしく豊かに暮らせるために技術がある」という高い意識の涵養を伴わずに、技術が発展した姿からは、その様な荒廃した社会を容易に連想させられるため、ここで付記しておきたい。

（3）保険

サービスロボットには様々な種類や用途、機能があり、その関係者も使用者（一般の老若男女から専門の技術者）、サービス提供者、製造者など様々である。したがって、そのリスクの工程、発生状況等も多種多様であろう。さらにこの様な状況であればなおさら、当事者からは「どの様な内容の保険を手当すべきか分からない」という疑問が当然生じるだろう。

例えば、現状ではロボット全体を包括的に規制する「ロボット法」がなく、既存の各種関係法令に適合させることが必要となるのと同様に、「ロボット保険」のようなリスク全般を包括した保険は基本的に存在しない。しかし、各種のリスクを補償する既存の保険商品（動産総合保険、施設賠償責任保険等）の組み合わせによってリスクに対応することが可能となっている（原則として個別の商品設計となる）。ただし、ロボットの特徴・管理方法・使用方法等により当然リスクも異なることから、保険引受の可否や保険条件、保険料等が大きく異なるのが通常である。ロボットに携わる当事者は、加入される保険の内容をよく理解した上で、想定される事故やリスクを踏まえて、適切な保険を手配することが必要と考えられる。

サービスロボットに関わる保険商品については、「ロボペディア」というウェブサイトにおいて専門家が解説している資料（講演スライド）が掲載されているので[14]、関心のある方は参照されたい。

また、「NPO法人ロボティックス普及促進センター」（2011年1月設立）は、東京海上日動の損保代理店「ロボット保険サービス」として登録されており、同センターがこれまで蓄積してきた知見を用いて、ロボットのビジネス、試験、イベント等に関わる各種の損害保険などの提案を平成25年4月から行っている。ロボットビジネス推進協議会でも「アプリケーション別

既存保険商品の適用ガイドライン（平成21年）」、「広義のロボットに関わる保険商品の概要（平成19年）」、「ロボットに関わる保険商品（メニュー）指針（平成19年）」などを公開している。

（4）規格化・標準化

A）サービスロボットに係る規格化・標準化

日本工業標準調査会（JISC）のウェブサイトによれば、標準化とは、「自由に放置すれば、多様化、複雑化、無秩序化する事柄を少数化、単純化、秩序化すること」とし、経済・社会活動の利便性の確保（互換性の確保等）、生産の効率化（品種削減を通じての量産化等）、公正性の確保（消費者の利益の確保、取引の単純化等）、技術進歩の促進（新しい知識の創造や新技術の開発・普及の支援等）、安全や健康の保持、環境の保全等の観点から「規格」として「統一」または「単純化」が行われている[15]。

特に研究開発の場合は、各社が研究開発を自社の方針とリスク負担に応じて独自に実施することは法令等に反しない限り自由であるが、各社が同様の研究をバラバラに実施していたのでは、我が国全体の視点からすると、我が国の限られた開発資源を有効に活用しつつ、早期に技術水準を向上させる点では非効率となる場合がある。その様な場合にこそ「規格化・標準化」手段が有効となる。

サービスロボットについては、まずJIS（日本工業規格）において、JIS B0187（サービスロボット－用語）として用語の分類とその定義が行われていることについて触れておきたい。具体例として幾つかをピックアップして（表4-2）のとおり掲載しておく。

さらに、サービスロボットの安全性や安全基準に関する取組についてはすでに触れているため、ここでは、我が国の研究開発プロジェクトとしての規格化・標準化の取組に係る政策的な考え方や例を下記のとおり紹介したい。

表4-2　JIS B0187（サービスロボット－用語）

《形態》

番号	用語	定義
2110	人間形ロボット	人間に似た外観形状と機能とをもつロボット
2120	2 足歩行ロボット	2本の足で移動するロボット
2130	顔ロボット	目、耳、口などを備え、人間の顔の表情に 似た変化を表現できるロボット

その他に、2140動物形ロボット、2150昆虫形ロボット、2160マイクロロボット、2170群ロボット、2180 ユビキタスロボットがある。

《用途》

番号	用語	定義
2210	ホームロボット	一般家庭で使用するロボット
2220	福祉ロボット	福祉分野で使用するロボット
2230	医療ロボット	様々な医療行為を支援するロボット
2240	アミューズメントロボット（エンタテイメントロボット）	人間を楽しませるロボット

その他に、2250メンテナンスロボット、2260災害対応ロボットがある。

B）研究開発段階からの標準化の取組

NEDO等が推進する様々な研究開発国家プロジェクト等の実施内容の中には、標準化を推進するための取組がすでに組み込まれており、研究開発と標準化の取組が一体的に推進されているような制度設計になっている。これを「研究開発プロジェクトへの標準化のビルトイン」と呼んでおり、国家プロジェクトを通じて得られた様々な知見、成果を速やかに市場へ導入し、我が国産業の競争力強化を図る観点から行われているものである。研究開発が終了し、その成果が明らかになった段階で標準化を検討するのではなく、研究開発段階から標準化とその国際貢献の可能性を常に念頭に置きながら開発を進めることで、技術立国たる我が国の優位性を活かしつつ、諸外国に先んじて標準化に取り組むことを目指した政策である。経済産業省とNEDOが策定している研究開発に関するロードマップ（「技術戦略マップ」）の中には、国際標準化に関する戦略についても記載することによって、技術の発展を見通し、その将来像や技術普及シナリオの在り方を描く段階から、標準化の取組を想定しておくとともに、個別の研究開発プロジェクトの実施の際にもプロジェクト基本計画の中に標準化への取組に係る計画等について明記しておき、さらに、プロジェクトの中間評価・事後評価の段階でも標準化の取組状況について評価を実施することで、着実な成果が得られるように制度設計が行われている。この様な取組はすでに様々な成果も生み出しており、我が国の基準認証政策について、奏効した例として経済産業省が発行するパンフレットで詳細に紹介されている。このパンフレットは同省のウェブサイトにも掲載されているので、同省の基準認証政策全体の取組を含めて参照してみては如何だろうか[16]。

なお、我が国において、サービスロボットの安全性に関する試験方法、安全基準、安全認証等の制度設計に関する研究、介護ロボット（ロボット介護機器）に関する機能や部品等のモジュール化、標準化等に関する研究が行われているが、これらの各種試験、試験データに基づく基準作成等の中心的な役割を果たしているのが、「生活支援ロボット安全検証センター」（つくば市、図4-26）である[17]。ここで同センターを紹介しておきたい。

このセンターは、2010年に設立されており、サービスロボットの安全性等に関して、(1) 走行試験関連エリア、(2) 対人試験関連エリア、(3) 強度試験関連エリア、(4) EMC（Electro-Magnetic Compatibility）試験関連エリアにおいて、機械、電気、機能安全に関する試験等を行っている。同センターの特筆すべき点は、試験機関として国家プロジェクトの活動場所であるとともに、日本のサービスロボットの認証のしくみの中心的拠点となる役割も果たしている点である。また、試験機関として国プロジェクトを通じた安全性データや技術の蓄積、標準化に必要なデータの取得や検討に加えて、プロフェッショナルの育成、安全なロボットの普及、「ロボットの街つくば」への貢献、安全性に関する社会的な認知度の向上、国際標準化の展開や国際貢献や国際交流・連携の拠点等、我が国ロボット産業の発展と国際的な貢献に向けて重要、かつ、様々な役割を担っており、サービスロボットの安全性や機能等に関する「Center of Excellence」ともいえる重要な存在となっている。

同センターのウェブサイトでは、質問、取材申し込み、各種試験等に関するお問い合わせの窓口も設けられているので、ご関心のある方はアクセスしてみては如何だろうか。

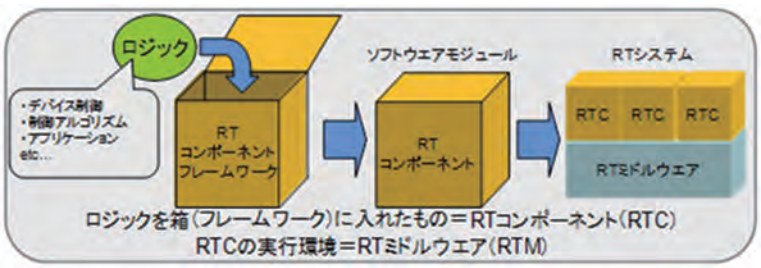
図4-26　生活支援ロボット安全検証センターの外観

（出典：NEDOウェブサイトから）

C）ロボット用ミドルウェアRTMとは

RTMとは、ロボット機能要素（RT機能要素）のソフトウェアモジュールを複数組み合わせてロボットシステム（RTシステム）を構築するソフトウェアプラットフォーム（ミドルウェア）であり、我が国（特にAIST、NEDO等）がロボット関連の技術開発とともに開発と公開を進めてきた[18]。また、RTコンポーネント（RTC）とは、RT機能要素をモジュール化したものであり、他のRTCとデータをやり取りしたり、通信したりする為のインタフェースがある。RTMとRTCの関係を（**図4-27**）に示す。RTMは、CORBAやUMLの規格化を行うコンピュータ業界の非営利の標準化コンソーシアムである国際標準化団体OMG（Object Management Group）にて、「ロボット用ソフトウェアのモジュール化に関する標準仕様」としても採択されている。

図4-27　RTミドルウェアとRTコンポーネントの関係イメージ



一般的に商品開発サイクルの短い、電化製品（ロボットを含む）や情報端末では、決定まで何年も掛かる標準規格よりも、その時点で一般的な規格であるデファクトスタンダードの重みが大きいと言われている。この様な観点からは、RTMの国際標準規格は必要であるが、ロボットの普及に伴うデファクトスタンダード化と両輪で進めていく必要がある。特にRTMの国際標準化により、次のような効果が期待される。

- 規格が統一化され，WindowsやLinuxといったOSやC#、C++、Java、Pythonなどのプログラミング言語に対する依存度が低くなる。これにより、様々なプラットフォームでの利用が容易となり、開発コストや期間の削減に繋がる。
- 分散処理により、ロバスト性及び信頼性の向上が期待される。
- ロボットの機能要素がモジュール化され、他のロボットへの再利用が容易となる。

（5）特区の事例と法規制の適用

A）コミュニティベースのサービスロボットシステムの共創

近年、ロボットサービスビジネスの実用化に向けて、地方自治体が、それぞれの地元に特有の資源（工業技術、人材、医療機関、特区、観光資源、伝統文化等）を活用して、コミュニティベースでサービスロボットシステムを共創する動きが盛んになってきた。

地方自治体等が地元産業の振興等を期して推進するこれらの取組は、愛知万博前後をピークとするロボットブームの際に活発化したが、日本経済が長期低迷してきた中で、東京の様な一部の都市だけでなく地方も併せて活性化し、日本全体を元気にするために、日本の優れたロボット技術を活用し、地域の特色に特区制度を組み合わせて地元産業の振興を図ったり、地域の課題や住民サービスに係るニーズを組み合わせて安全・安心な住民サービスを提供したりと、地域に根ざした地道な取組として継続する動きも見られる。各地で住民の高齢化や産業の空洞化・衰退が深刻化していることや、東日本大震災を契機とした安全・安心社会の実現を目指す国民的な機運が高まったことも影響していると思われる。

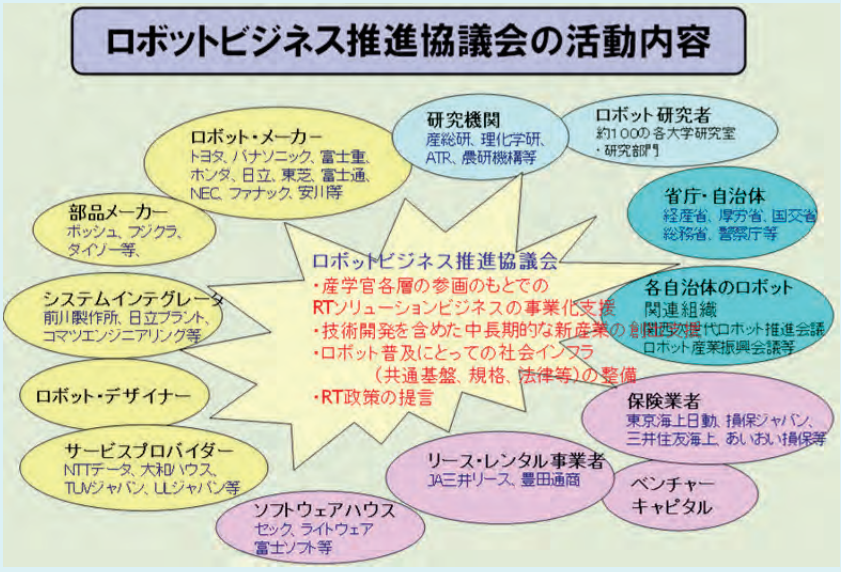
各地域における取組[19]の中でも、「研究学園都市」、「ロボットの街」としても有名であり、ロボットの公道走行にも比較的早くから取り組んできた「つくば市」が象徴的な役割を担い、地域の様々な資源を活用しながら、地道な活動を意欲的、継続的に続けてきた。同市の他自治体や海外に与える貢献や影響は極めて大きく、同市を手本として特区を活用したロボット産業の活性化、町おこし的な取組を進める自治体が増えているなど、今後の動向が注目される。これらの「地域共創」の動きが、地域の特色を最大限に活かしながら各コミュニティベースで拡がり、全国の各地域から日本を元気にするロボットサービスビジネスとして定着することを期待したい。

コラム 4-15

～ロボットビジネス推進協議会の活動状況について～

2005年愛知万博においてサービスロボットの実用化に向けた実証実験が行われたが、国民のロボットやロボット技術（以下RTと称す）に対する期待は大きなものであった。また、少子高齢化、労働人口低減や国際競争力激化などが進展し、これらによって顕在化する様々な課題解消についてもRTに期待する状況になっている。このような中、産業、研究分野の壁を越えて、全てのロボット業界ステークホルダーが連携と相互理解を深め、実社会で役に立つRTを実現することを目的として2008年12月に設立されたのが「ロボットビジネス推進協議会（以下ビジ協と略す）」である。ビジ協は民間団体であり、いわゆるサービスロボット（人間と協調・共存し人間作業、生活をサポートするロボット〔次世代ロボットと称することもある〕＝製造用途以外のロボットを指す）の普及促進、新事業化推進に資する幅広い支援活動を行っている。

図表　ロボットビジネス推進協議会の活動内容



出典：ロボットビジネス推進協議会成果報告会ppt資料（2013.11.9）

ビジ協は4会員で構成されている。まず、普通会員であるが、これは設立趣旨に賛同した営利法人であり、総会での議決権を有する。会費は10万円／年である。準会員は、総会での議決権はない営利法人で、会費は5万円／年としている。また、会費無料で参

加できるのが学術会員と特別会員である。学術会員は大学、公的研究機関の有識者、また、特別会員は、自治体や特殊法人などの団体に所属されている方々である。これらの会員数は現在、普通会員54社、準会員13社、学術会員83機関、特別会員56機関であり総数206社・機関となっている。

ビジ協体制は、総会の下の幹事会、その下の3部会で構成されているが、具体的な活動は各部会に設けられたWG（ワーキンググループ＝ミッションを絞りそれにフォーカスして活動する）のメンバーを中心としている。また、学識経験者によるアドバイザグループのサポートが必要に応じて受けられる。（事務局は（一社）日本ロボット工業会）

「安全・規格検討部会」は、安全基準や安全検証手法の策定に向けた活動と安全性の認知主体とした社会意識の醸成活動を行っている。また、サービスロボット普及の障害となる規格、規制等の課題について検討を行い、所管関係者も交えて課題情報の共有化とその解決に向けた協議などを行っている。この部会は4つのWGで構成されている。生活支援プロジェクト対応WG、エレベータWG、通信WG、保険構築WGである。生活支援プロジェクト対応WGはNEDO開発プロジェクト「生活支援ロボット実用化プロジェクト」と連携しながら、例えば、プロジェクト参加者以外のメーカ要望や意見の聴取、反映やプロジェクト情報の共有や成果の普及などの支援活動を行っている。また、サブWGとして「安全普及SWG」を設けている。このSWGは主に「生活支援ロボット実用化プロジェクト」で開発されている安全技術の社会への啓蒙や普及などを行うことを目的に全国各地（福岡・神戸・大阪・名古屋・東京）で安全セミナーを開催している。エレベータWGはビル高層階へロボットの行動範囲を広げるために人間とロボットがエレベータを共用できるように、ルールつくりを目指して活動している。人とロボットがエレベータかご内で共存するためのガイドラインなどを整備し、現在は実証実験を行うため特区活用も視野に入れて検討を進めている。通信WGはロボットの無線通信環境を整備することを目標に活動を進めている。総務省のUHFホワイトバンド活用検討WGに参加し、特に防災ロボット関連の無線帯域確保に向けて取組を進めている。保険構築WGは、ロボット保険の商品化を目指して他WGとも交流をしながら仮想事例検討などを進めており、団体保険制度構築を目指している。

「ビジネス創出検討部会」はロボットビジネスの創出に向け、RTの普及、実装に向けた社会インフラ整備に係る活動を行っている。医療福祉WG、移動型ロボットWGについては課題洗い出しと解決に向けた方策検討などを行っている。特に移動型ロボットWGについては、軽車両専用通行帯設置の機運やパーソナルモビリティのガイドライン作成などの動きのある中で特区活用による実証実験が各地で行われており、その動向を注視している。復興支援とRT活用WGは東北大震災の避難地域などで、復興のためにRTを活用して被災された方々を助ける活動を進めており、地元に密着した支援を行っている。RTミドルウェアWGは講習会、サマーキャンプやコンテストなどを開催し

RTミドルウェア技術の普及に努めている。

「広報・事業企画検討部会」は広報事業企画WGを通じてマッチングイベントや展示会などへの出展を中心にサービスロボット技術の訴求、アピール活動を進めている。
次世代ロボットの普及に向け、ビジ協は2011年4月「声明」として以下3つを柱に、産学官関係者に呼びかけを行った。

提言①は「次世代ロボットの対人安全技術確立と基準・検証手法整備の確実な推進」である。

これについて活動実績としては、サービスロボットの安全基準確立と検証手法策定を目的としたNEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」と連携し、プロジェクト情報の共有、成果の普及、安全技術の周知等を前述のとおり、生活支援プロジェクト対応WGと安全普及SWGの2つWG活動を通じて行っている。

また、国際安全規格ISO13482（Personal care robot）の設立に関してもサポートを行っている。（2013年2月に正式発行）

提言②は「現場実証機会の拡大とロボット導入に向けた社会制度の見直しの推進」である。

これは、次世代ロボットの実証機会確保の必要性、重要性を踏まえ、その実現性を様々な場で訴え、国や多くの自治体でロボット関連の実証プロジェクト等が実現されている。以下にその一例を示す。

＊経済産業省・厚生労働省「ロボット介護機器開発・導入促進事業」
＊厚生労働省「福祉用具・介護ロボット実用化支援事業」
＊経済産業省・厚生労働省「福島県における医療福祉機器・創薬産業拠点整備事業」
＊神奈川県「介護ロボット普及推進事業」
＊愛知県「次世代ロボット実証支援事業」
＊新潟県「最先端介護関連ロボット実証事業」
＊大阪市「ライフイノベーション推進実証実験事業」

提言③は 「ユーザ支援を通じた、製品普及促進に向けた環境整備」である。

これについて、国の戦略として、ロボットやRTの活用が重要な施策の一つとして取り上げられており、着実な推進が求められている。例えば政府・国家戦略会議：「日本再生戦略」の中の「ライフイノベーション」でロボット活用を位置付けている。また、内閣府「科学技術重要施策アクションプラン」で少子高齢化社会における生活の質の向上として、高齢者や障害者などの機能代償・自立支援技術開発の重点取組の中で、ロボット技術の開発と実用化をとりあげている。

このように、サービスロボット（次世代ロボット）への国民の期待は益々大きくなっており、ロボットビジネス推進協議会としてサービスロボットの実用化、ビジネス化取組を加速推進させユーザ支援と製品普及へ歩みを続けていくのが責務であると考える。

濱田 彰一（一般社団法人 日本ロボット工業会）

コラム 4-16

～次世代ロボット開発ネットワークRooBO～

●RooBOの概要と具体的な取組事例

次世代ロボット開発ネットワークRooBO（ローボ。＊以下、「RooBO」という）は、大阪圏の中小企業が中心となり、平成16年に設立した企業ネットワークである。設立当初から、公益財団法人大阪市都市型産業振興センターに事務局を置く。設立時は28社の会員数であったが、現在、法人会員235社、個人会員254名（＊平成25年9月末現在）が参画している。

RooBOの設立目的は、中小企業が新たなロボットビジネス参入の機会を提供することで、大阪圏から新たな製品やサービスの創出を目指すことである。

当時はロボットビジネス黎明期ということで、情報も少なく、部品も高額であるなど参入するには非常にハードルが高かった。ましてや中小企業となると様々な要素技術から構成されるロボットを単独で製作することは非常に困難であった。そこで、複数の企業が協同し、開発をおこなう目的として設立した。会員同士が交流会や勉強会などで相互の取組を知ることで案件に応じて柔軟にプロジェクトを組成している。こうした9年間の取組の中から、下記のとおり製品やサービスが創出されている。

■RooBO取組事例

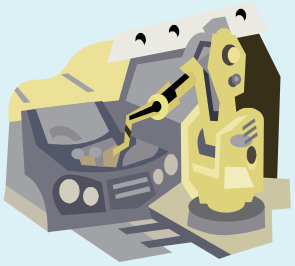
・移乗介護機器「ROBOHELPER　SASUKE」、自動排泄（はいせつ）処理装置「LOVE」（マッスル株式会社）

・みまもりロボット（株式会社ハイコム／有限会社パーソナル・テクノロジー）

●RooBOのこれから

これまで9年の取組により、参加する企業も増え、いくつものプロジェクトが創出さ

れている。しかし、こうした取組は順風満帆な訳ではなく、様々な課題を抱えながら、その解決策を会員企業と協議し、試行錯誤しながら対応してきた。例えば、会員数の増加にともない会員間の関係が希薄になるという課題がある。これは現在も抱える課題であるが、こうした課題の解決法として、会員自ら交流会や勉強会の企画をおこなうなどしている。こうした取組から古参の参加企業と新規の企業が交流し、新たなプロジェクトの組成につながっている。しかし、プロジェクト組成後、ビジネス化に至るまではサポート機能を有していないなど解決しなければならない点は多々ある。こうした機能の開発をおこない、また企業が率先して取組をおこなえるよう事務局と企業と連携した企業ネットワークへと成長させていきたい。



前場 大輔（公益財団法人 大阪市都市型産業振興センター 新産業創造推進室 ）

コラム 4-17

～神奈川県のロボット実証実験～

神奈川県では平成23年度より、ロボットの実証実験支援事業を行っている。この事業は、実証実験実行委員会（構成：神奈川県、川崎市産業振興財団、かわさき・神奈川ロボットビジネス協議会）が実施主体となり、実証実験の企画を募集、選考を行い、応募者（被採択者＝実施者）とともに実証実験を運営する。

一般的に実証実験とは、新開発の製品・技術などを実際に使用し、実用化に向けての問題点を検証することを指す。ロボット開発における実証実験では、ユーザの反応等を見ることでその後の改良・商品開発に役立てたり、事業化の可能性を検証したりする狙いがある。対象とするロボットは二足歩行ロボットや搭乗型ロボットなどに代表されるような、いわゆる”ロボット”だけでなく、ロボット関連技術を使った製品やシステム、例えば、橋梁メンテナンス診断や高齢者の見守りシステムのようなものも含まれる。

平成23年度、24年度の実証実験では、採択された実施計画に基づき、実行委員会が全体費用の1/2以内を負担し、実行委員会が委嘱したコーディネータが実施者に代

わって、実験会場の手配や関係機関との交渉など、実証実験実施に必要な調整・サポートを行い、実施者とともに実証実験を運営した。ロボットの実用化、普及に欠かせない安全対策には特に力をいれており、ロボットの本質安全、機能安全を確認するための各種書類の提出、実験現場での安全性の確保、万が一事故が生じた場合の保険の加入など、想定されるリスクを回避するための検討と検証を行った。

これまで病院、船舶、橋梁、プラント、遊休地など幅広い施設の協力を得て、川崎、横浜地域を中心に計14件の実証実験を行なった。

実証実験は、ビジネス化後では許されない多くの経験を得られるため、ロボットを実用化する上で大変重要である。特に、独自の実験施設を持てない中小やベンチャー企業

図表　ロボット実証実験実施回数、実施場所

	平成23年度	平成24年度	平成25年度（予定）
実施回数	6	8	32
実施場所	5（民間施設1） 病院、船舶、県・市施設	8（民間施設3） 橋梁、プラント工場、県施設・遊休地	30（民間施設23）高齢者福祉施設、病院、県施設・遊休地、公道など

にとって、ロボットが使用される環境に近い場所での実験実施は、ユーザニーズや導入の際のポイントの把握、準備・実施・撤収の段取りと時間配分の理解、安全面の検証など、様々な経験が得られる貴重な機会となる。平成24年度に実施した実験では、赤外線カメラで壁面診断をしている業者とのデータ比較を行い、ユーザにロボットを活用してもらう客観的なデータを示すことで、ビジネスにつなげる試みもなされた。

また、実施者に代わって、実行委員会やコーディネータが実験実施に必要な調整・サポートを行うため、民間メーカのロボットの実験が公益性のある実証実験として信用力が高められ、施設の選定や許認可申請手続きなどを容易に行うこともできる。

損害保険の重要さについては実施者も認識してきており、また、施設を提供する側の安心、安全にもつながっている。

神奈川県では、さがみ縦貫道路の全線開通を機に県内経済の活性化を図るため、この沿線地域等を対象とした地域活性化総合特区「さがみロボット産業特区」を国に申請し、平成25年2月に指定を受けた。ロボット実証実験は平成25年度から「さがみロボット産業特区」の事業として、「介護・医療、高齢者支援、災害対応」を中心とした生活支援ロボットの普及に向けたニーズの掘り起こしや技術の改良を図り、ロボットの事業化を促進していくことになっている。平成25年度は県央地域において32件（予定）の実証実験を実施する予定である。

小林 賢一（かわさき神奈川ロボットビジネス協議会）

コラム 4-18

～ロボット関連企業ネットワーク～

神戸市では「ロボット開発によるものづくり技術の高度化と市内産業の振興」等を目指し「神戸RT（ロボットテクノロジー）構想」を推進しており、開発を促進する企業間のネットワークとして「ロボット開発研究会」と「神戸RT研究会」の2つの研究会がある。

「ロボット開発研究会」は、神戸市内の中小製造業約280社からなる（一社）神戸市機械金属工業会において、会員企業によるロボットの共同開発を推進する組織として設置された。勉強会やセミナーなどによる情報収集・情報交換を行いながら、会員企業の技術の高度化を図るとともに、会員企業の持つ要素技術を組み合わせて共同開発をすすめている。

「神戸RT研究会」は、神戸RT構想の中核機関である（公財）新産業創造研究機構神戸ロボット研究所において発足した、市内外の中小企業のほか大学・研究機関等も参画する産学官で構成される研究会である（平成25年6月現在：131社・団体）。ロボット関連のセミナーや勉強会の開催、調査研究活動を通じて、介護や農業を支援するロボットの研究開発・事業化を目指している。現在は、社会的ニーズの高い農業支援の分野における取組として、平成22年度にスタートした5年間のプロジェクト（農水省委託プロジェクト）の畦畔除草ロボットの開発に取り組んでおり、平成27年度の実用化に向けて開発をすすめている。

こうした企業ネットワークは中小企業にとって、会員企業の技術向上・製品開発のためにも重要であるが、現状では会員企業間の情報交換・情報共有という点では一定の成果はあるものの、開発製品の事業化という具体的な成果にはなかなかつながっていない。また、設立から年数がたつにつれ、会員企業間で活動への関与の度合いに差が生じている。

企業ネットワークとしての活動を活性化させ、より機能させていくためには、会員企業間で目的と課題を改めて共有化し、会員企業間のネットワークを充実させるとともに、現状のネットワークでは対応できない課題に対応するためにも、他の企業ネットワークと連携していくことも今後必要になってくるのではないか。

高原 昇（神戸市産業振興局経済部工業課）

B）法規制と特区（つくばモビリティロボット実験特区の実例）

a）つくばモビリティロボット実験特区の取組の概要

つくば市において実施されている「つくばモビリティロボット実験特区」の活動は、我が国におけるパーソナルモビリティロボットの公道（歩道）走行の実現を通じて、スマートなまちづくりや生活支援ロボットの産業化を目指す産学民官が一体となった取組として、平成23年6月に開始され、平成24年度末時点の累計公道実験日数284日、累計走行距離数6,934km、累計搭乗者数（開発者等除く）862人を数えるなど、実施内容の充実化が図られるとともに、他の自治体、マスコミ等の関心も高い点に特徴がある。

公道実験に使用されているモビリティロボットは、セグウェイ（セグウェイジャパン製）、マイクロモビリティ及び自律走行車いすMarcus（AIST製）、搭乗型移動支援ロボットROPITS（日立製作所製）の4種類であり、それぞれ運輸局緩和認定を受け、巡回実験、ツアー実験、様々な路面での自律走行実証実験、自動送迎等に向けたタブレット予約システムの実験、歩道における自律走行時の搭乗者の心理調査、広範囲での高信頼自己位置推定精度の調査等の実験を行っている。

b）同特区における規制緩和の概要

規制緩和に関してつくば市では、公道実験で用いるロボットに関する保安基準の緩和申請を行い、関東運輸局長の認可を得ている。さらに、つくば中央警察署長への道路使用許可を得て、モビリティロボット専用のナンバープレート（課税標識）を作成し、公道実験を開始している。これらは、現行法制度がロボットの公道走行を想定していないための措置であり、「道路交通法」及び「道路運送車両法」に係る特例措置は以上のとおりである。また、つくば市では、公道実験の結果、各緩和事項によっては特区ロボットの運行における安全性の低下や環境負荷の増大などの不具合は認めていないとしている。

平成24年度からは、これまでの公道実験では認められていなかった、モビリティロボットに搭乗したままでの「横断歩道」の走行が可能となり、平成25年2月、横断歩道の走行を含んだ公道実験ができるようになっている。また横断歩道の走行に併せて、公道実験を行う際の実施場所の境界を示すためのカラーコーンの設置義務なども不要となっている。

c）同特区における社会親和的な効果

そして最後に、規制緩和と同様に重要な、「ロボットが社会にもたらす社会親和的効果」について述べておきたい。日本人の特徴として、「ロボット」と言われるものに親しみを抱いている方も多いだろう。幼い頃からテレビアニメで親しんできた正義の味方やヒーロー、困った時に頼りになる未来の国から来た友達がロボットだったり、「ロボット」と銘打つ（学術的にロボットか否かは別にして）人形等のアトラクションを売りにしているレストランが、大勢の大人で繁盛していたりする。

「つくばモビリティロボット実験特区」では、実際に地域社会でロボットを実装（実走）してみて得られているロボットらしい効果として、ロボットの利用を通じて自然に生み出される

挨拶や交流、他者への配慮など、地域社会に「フレンドリーさ」を醸成している点があげられる。この点を、地域共創にも役に立つ「ロボットの効果」としてあげておきたい。この効果を生む要因として、もちろん好奇心をくすぐる「物珍しさ」もあるだろうが、複数年にわたって同じ地域で継続して実施している中で、「研究学園都市」らしく、かつ、日本を代表する先進的で誇らしい取組である点に加えて、市民自身によるロボットの利用、市民の見守り、地域の清掃や道案内、コンテスト等の多彩な行事も取り入れることで、市民の理解や共感が得られやすくなり、そもそも親しみやすいロボットが「鎹・仲介役」となって地域社会の構成員どうしの親近感や一体感を生み出し、親和性を高めているからではないだろうか。市民からの理解、共感、尊敬等を得つつ、地元の特色を活かした、誇らしいロボットの社会実装システムを地域社会が一体となって共創することで、ロボットが仲介役となって市民が市民の役に立ち、他の地域やマスコミからも注目され、市民どうし、市民と企業や公的機関、教育機関等のコミュニケーション、地域連携なども促進され、住みやすい街づくりや付加価値のある住環境生活が広がっていくのではないか、というロボットがもたらす新しい効果が分かった点でも、貴重な知見が得られている実験であると考えられる。

コラム 4-19

～つくばモビリティロボット実験特区の目指すところ～

つくば市では、日本で初めて「モビリティロボット実験特区」の認定を受け、2011年6月から、立ち乗り電動2輪型のパーソナルモビリティを中心としたモビリティロボットの公道実験を行っている。当初は、セグウェイジャパン、日立製作所、産業技術総合研究所の3機関と実験を開始したが、2013年からは新たにトヨタ自動車とアイシン精機が実験に加わった。現在、5機関がつくばの街中をフィールドに様々な実証を行っている。

これまでの延べ走行距離は8,000kmを超えた。事故や特段のヒヤリハットはなく、例えばセグウェイ等を公道で走らせるにあたり安全面では特段の問題はないと考えている。

パーソナルモビリティロボットの最大の特徴は何か。我々はこれまでの実験において次のようなことに気づいた。パーソナルモビリティロボットは、電気で動く超小型の乗り物で、CO2を排出しないため、環境に優しいエコなモビリティである。しかし、このモビリティの最大の価値はエコであることではない。自動車、バイク、鉄道、自転車

などのこれまでの輸送手段とは根本的に違う部分がある。

自動車、鉄道などのこれまでのモビリティは通常、A地点からB地点まで効率的に速く人を運ぶことを目的として作られている。「速く、効率的に、生産的に、便利に」といったことが「移動」という行為におけるこれまでの最大の価値基準であるが、それに対しパーソナルモビリティロボットの最大の特徴は、「スローモビリティ」という言葉で表現される。自転車等よりもゆっくりと低速域で安定して移動ができることで、移動に「ゆとり」と「余裕」が生まれ、人混みでも歩行者と親和性を保ちながら移動することができる。時速0kmから10kmまでのレンジでこれほどゆとりをもって移動が出来る乗り物はこれ以外には見あたらない。

速く、効率的に、便利に、遠くまで楽に移動できることだけが「移動」ではない。移動とはもっと生産的で、クリエイティブな行為であると考えている。ぶらぶらする、誰かと出会う、話す、何かを発見する、街や景色を楽しむ、アイデアが生まれる等、そうしたことすべてが移動という行為の中に含まれ、移動の中で生まれるものであると考えている。パーソナルモビリティロボットはそうした移動の可能性を広げるものであると考えている。

図表　たくさんのコミュニケーションが街中に生まれるセグウェイツアーの様子

大久保 剛史（つくば市 つくば市国際戦略総合特区推進部 科学技術振興課）

参考文献

[1] 「研究者を最優先した従来にない全く新しい制度の創設」（平成21年4月21日総合科学技術会議資料）.

[2] 「革新的研究開発推進プログラムの骨子」平成25年8月30日最先端研究開発支援推進会議）.

[3] 「ロボット技術の介護利用における重点分野」（平成24年11月厚生労働省老健局 振興課,経済産業省 製造産業局 産業機械課,平成26年2月改訂）.

[4] http://www.nedo.go.jp/activities/CA_partnership.htmlや「介護ロボットポータルサイト」（http://robotcare.jp/）を参照.

[5] 「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」（平成25年12月25日経済産業省及び国土交通省）.

[6] 土井美和子,小林正啓,萩田紀博,ユビキタス技術 ネットワークロボット 技術と法的問題、株式会社オーム社、平成19年10月20日
[7] 日本産業用無人航空機協会ウェブサイト http://www.juav.org/
[8] 次世代ロボットの法的課題について
(平成25年5月28日)
http://robopedia.sakura.tv/news/905
[9] http://www.meti.go.jp/policy/external_economy/trade_control/boekikanri/index.html
[10] http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100179.html
[11] http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100215.html
[12] http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100250.html
[13] アイザック・アシモフ(Isaac Asimov, 1920年～1992年)アメリカの作家,生化学者.同三原則は「われはロボット(I, Robot)」(1950年刊行)で初めて登場.
[14] サービスロボットに係るリスクと保険
(平成25年6月11日)
http://robopedia.sakura.tv/news/987
[15] 日本工業標準調査会(JISC)のウェブサイト http://www.jisc.go.jp/std/index.html
[16] 経済産業省「我が国の基準認証政策の紹介」.
[17] 生活支援ロボット安全検証センターのウェブサイト http://robotsafety.jp/wordpress/
[18] http://openrtm.org/openrtm/ja/content/openrtm-aist-official-website
[19] 注意すべき点として、福岡県の「ロボット開発・実証実験特区」の構造改革特区認定(平成15年11月)と公道実験(平成16年2月～、北九州市・福岡市)や、京都府精華町での「ネットワークロボット実証実験(公道走行等、平成17年11月)」、岐阜県の構造改革特区におけるVRテクノセンターでの小型ロボット公道走行実験(平成17年4月)、豊田市での搭乗型移動ロボット実証実験(平成22年10月)などが以前から多々行われていることがあげられ、つくば市の「モビリティロボット実験特区」の構造改革特区認定は平成23年3月である。

コラム 4-20

～「ロボット大賞」が果たす役割～

経済産業省と(一社)日本機械工業連合会が主催する「ロボット大賞(旧称「今年のロボット大賞」)」は、わが国の優れたロボットや部品等を表彰する制度として2006年より開始された表彰制度である。社会情勢を踏まえて、応募されるロボットも変化しており、前回の「第5回ロボット大賞」では、介護ロボットや災害対応ロボットの応募件数が増えた。

一方、ロボット大賞の表彰制度及び評価制度も、その時代の社会的課題等を踏まえて変更を加えており、前回からは「社会実装」を意識した制度へと改めている。具体的には、

事業目的に“ロボット／RTを公知し、その社会実装による新社会システムの実現と産業創出に結びつける”という一文を加えるとともに「ロボットビジネス／社会実装部門」を新設した。

同部門では、新たなビジネスモデルや社会モデルの提示により、サービスシステムから社会システムまでロボット／RTの実装につなげた例を評価したのに加え、ロボット市場創出のキーパーソンとなる「RTシステムプロデューサー」の輩出を期し、彼らの主導によるロボットの導入例も評価対象に加えた。「第５回ロボット大賞」を受賞したパナソニックの提案は、院内作業への実装に加え、RTシステムプロデューサーの役割を“組織的に”果たした点でも評価している。

当初、同部門への応募は少数にとどまると思われたが、計16件（全体で83件）の応募があり、企業から自治体までロボットの社会実装に関心が高く、これにより社会変革を遂げられることへの期待の高さが伺えた。次回は、さらに多くのロボットやシステムが同部門に応募されることを期待し、ロボット大賞を通じて、広く優れたロボットを紹介していきたい。

図表　ロボット大賞のロゴマーク

林 英雄（ロボット大賞 運営事務局　株式会社 日刊工業新聞社 業務局イベント事業部）

4.4. 海外の主要国の状況

ここでは、海外主要国（米国、欧州、韓国、中国、オーストラリア）における生活とサービス領域のロボット化産業の現状について述べる。

（1）米国

米国では、オバマ大統領が2011年6月に国内の製造業の再活性化を目指して、次世代ロボットの研究開発に取組む方針を発表した。この方針の発表を受けて、国立科学財団（NSF）、航空宇宙局（NASA）、国立衛生研究所（NIH）、農務省（USDA）の4機関からNational Robotics Initiative:（NRI）が発表された。これは4機関が研究開発費（総額7,000万ドル）を出資する省庁横断型の研究開発イニシアチブであり共同で公募を実施する仕組みとなっている。また、米国におけるロボット開発は、DARPA主導の防衛・軍事利用目的とした研究開発で注目されるようになった。DARPAの代表的なロボット開発プログラムには、「Autonomous

Robotic Manipulation（ARM）プログラム（簡単な指令で複雑な作業を自律的にこなす研究開発）」「Maximum Mobility and Manipulation（M3）プログラム（ロボットの機能を最大限に引出す研究開発）」「Legged Squad Support System（LS3）プログラム（軍用4足歩行ロボット）」「Urban Challenge（完全自動制御の無人ロボットレース）「DARPA Robotics Challenge（DRC）（災害対応ロボットの競技）」などがある。

米国ではDARPAを中心とした、軍事関連のロボットの開発が盛んであり、民生用に転用されるケースが多い。例えば、掃除ロボット「ルンバ」を開発した米国iRobot社は、1990年にMITの人工知能の研究者（ロドニー・ブルックス、ヘレン・グレイナー、コリン・アングル）によって設立されたロボット専業メーカであり、NASA、DARPA等の国家プロジェクトで探査ロボット（Genghis 1991年）や多目的作業ロボット（Urbie 1997年）などを開発し、2002年に家庭用自動掃除機「ルンバ」を発売した。日本では、2004年にセールス・オンデマンド社が発売を開始したが、直ぐには普及せず、10年後の2012年ごろに本格的に市場 が立ち上がった。米国では、このようにベンチャー企業が、国家プロジェクトで開発した技術の民間展開を長期に渡って継続できる環境にあることが、日本との大きな違いと思われる。

A）DARPAチャレンジと無人走行自動車の公道走行

米国ではIT企業であるGoogle社による無人走行自動車の開発が進んでいる（図4-28）。ネバダ州で自動走行車の公道走行を認める法律が施行（2012年3月、世界初、5月にGoogle車に初ナンバーを交付）され、CA州知事が自動運転車の公道走行許可法案に署名（2012年9月）した。Google社は、同社の中核事業である「Google　Maps」など地図の広告サービスとの融合や拡充に加えて、自動運転車のOS開発も手掛けようとしている。自動運転は外部の地図情報や道路情報などを取り込むことにより様々なサービスを行うことができる可能性を秘めており、スマートフォン用OSのAndroidで培ったビジネスモデル（地図に広告サービスを融合した「Google Maps」など）を、自動運転に持ち込みロボットカーのOSを開発することがGoogleの狙いといえる。欧州と日本では自動車メーカが中心となってロボットカーを開発している。ソフトウェアが得意なGoogleがハードウェアも手掛けロボットカーを開発するのとは逆向きで、ハードウェアを手掛けてきた自動車メーカがソフトウェアを開発している。完全に自動化された自動車は基本機能（走る、曲がる、止まる）がソフトウェアに左右される比率が高まる。このソフトウェアをIT企業と自動車メーカが競い開発しているという状況である。例えば、米国DARPAの2007年11月に行われたUrban　Challengeは、ロボットカーによるレースであり高校、大学、企業などからの多くの参加があった。カーネギー・メロン大学のロボット車「Boss（ボス）」が優勝し、賞金の200万ドルを獲得した。

また、完全に自動運転が実現し、自動車の基本機能に占めるソフトウェアの比率が高くなると、ロボット産業にとっては技術を適用する領域が広がり市場を拡大させるチャンスである。一方、自動車メーカにとっては今まで開発してきた車（ハードウェア）の技術的な割合が相対的に下がり、これまで以上に、ソフトウェアによって車の性能が大きく左右されてしまう可能

性がある。したがって、パソコンの世界のMicrosoftやGoogleのように、自動車のビジネスモデルがソフト中心に代わる可能性もあり、自動車メーカにとってはどのようなビジネスモデルでロボットカーを開発するかが大きな課題である。

現在、自動運転技術は日本やドイツの大手自動車メーカも開発を進めているが、自動運転の実現にはセンシングや情報処理の技術が必要である。これらの技術を取り込むために外部の大学や企業と協力して研究を進めている。例えばトヨタ自動車では自動運転技術の研究に関してスタンフォード大学に研究資金を提供[1]したり、Microsoft社やsalesforce.com社などと事業提携をしたりし自動車の情報サービスなどの強化を進めている。

今後は、自動車やその構成部品の製造販売だけではなく、それらを制御するソフトウェア、自動車の運転や利用時に役立つ様々な情報やITシステム、そのためのビッグデータの分析技術を使って統合的でスマートな移動や物流サービスを提供するビジネスが可能となる。このようなスマートな移動や物流システムを組み込んだ都市空間の設計・運営や住環境づくり等の総合的でグローバルなプロデューサーが、交通・物流、不動産、情報通信、エネルギー、医療、防災等の様々な業種を超えた総合サービスの提供業者となりビジネス推進の中心となることが考えられる。

図4-28　Google社のロボットカー

（出典：Google社ウェブサイトから）

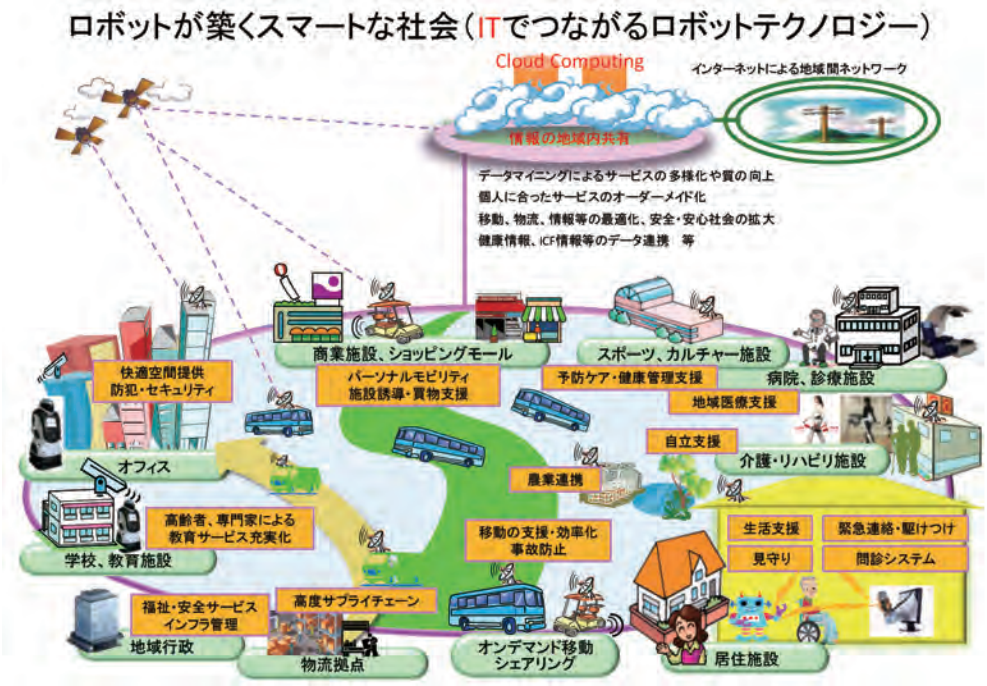
（2）欧州

ここでは、欧州で行われている、ロボット技術とクラウドの融合による新しいソリューションを探索する研究開発やロボットが人間に近づくことに対する倫理的な課題に対する最近の取組を紹介する。

A）ロボットのためのネットワーク・プロジェクト

ロボット技術とクラウドコンピューティングとの融合により、医療・福祉ロボット等で実用化に向けて研究が進展している。クラウドコンピューティングとは、ネットワークをベースとしたコンピュータの利用形態で、ユーザはコンピュータ処理をネットワーク経由で、サービスとして利用する。クラウドによるサービスについては、企業向けサービスから、実世界から収集されるデータを対象にする消費者向けサービスへ発展してきている。クラウドロボティクスの社会イメージを（図4-29）に示す。例えば、搭載したセンサにより外部情報を取得し、より効率的に安全に移動できるインテリジェントなモビリティロボットや、センサネットワークで取得した情報やデータベースに蓄積された情報（ビッグデータ）から高付加価値の情報をロボットを通して現実世界にフィードバックするようなことが可能になってきた。

図4-29　クラウドロボティクスの社会イメージ



（出典：Japan Robot Week 2012 NEDOが描くロボットの未来像と今後の展開）

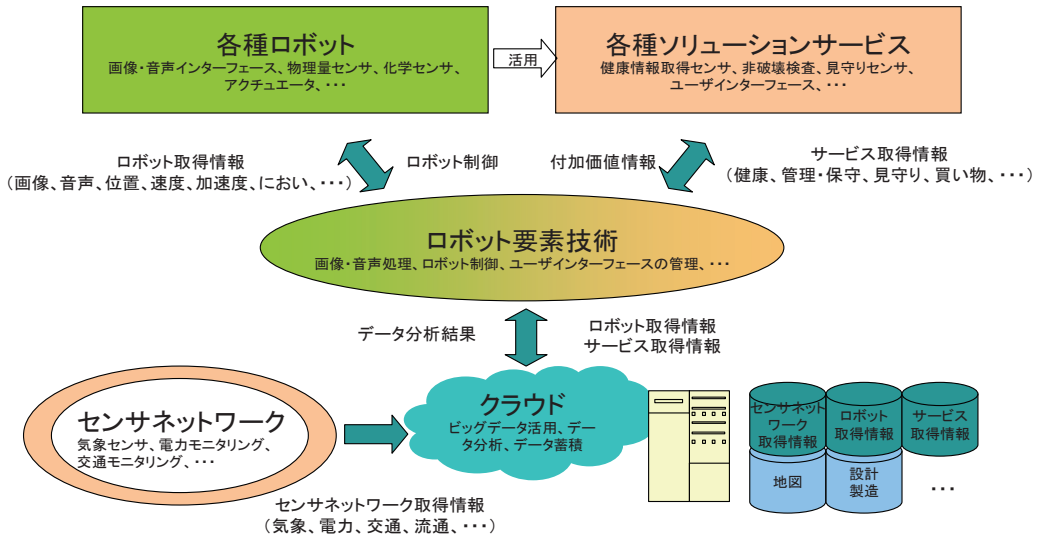
このように、クラウドによるサービスは、PC、スマートフォン、タブレット端末などの情報端末だけでなく、今後は各種センサ、家電、EVなどのモビリティ、ロボットなどへ展開していくことが予想される。特にロボットとクラウドコンピューティングの融合をクラウドロボティクスという。クラウドロボティクスの概観イメージを（図4-30）に示す。

クラウドロボティクスによって、個々のロボットが持つ処理能力は重要ではなくなるので、軽量、小型、省エネで、携帯性の高いロボットを作成でき、併せて製造コストが下がるというメリットも生まれる。ロボットの開発と製造において、クラウドは開発時間と導入コストの両面でロボット普及のハードルを大きく下げると期待されている。したがって、クラウドがロボット普及のキーテクノロジーとなる可能性があり、さらに、個々のロボットが学習した知識や情報を知識データベースに蓄積することで、さらに賢いロボットが実現可能となる。

欧州におけるクラウドロボティクスの研究開発として、第7次フレームワークプログラムの資金（Cognitive Systems and Robotics FP7/2007-2013.）でロボットのためのネットワーク・プロジェクト「RoboEarth」[2] の開発があげられる。「RoboEarth」は、「ロボット向けのwww構築」を目指し、オランダのアイントホーフェン工科大学、ドイツのシュトゥットガルト大学、ミュンヘン工科大学、スイスのチューリッヒ工科大学、スペインのサラゴサ大学の研究者らが立ち上げた。「RoboEarth」は、ロボットがタスクを習得する時までにデータをアップロードして、新しいことを行う際に助けを求めることが出来る場所である。（図4-31）に「RoboEarth」の構成を示す。「RoboEarth」はROSに互換性のあるコンポーネントを提供し、

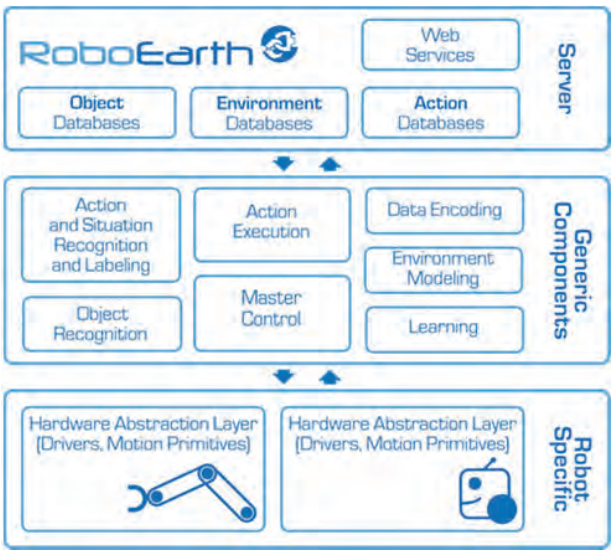
知識データベースには、ソフトウェアコンポーネント（Object Databases）、ナビゲーション用の地図（Environment Databases）、タスク知識（Action Databases）などが蓄積される。

図4-30　クラウドロボティクスの概観イメージ



（出典：http://www.ntt.co.jp/journal/1209/files/jn201209060.pdf などを参考に作成）

図4-31　「RoboEarth」の構成



（出典：http://www.roboearth.org/what-is-roboearth）

B）ロボット技術と倫理

ロボットがより人間に近づくに従い、倫理問題を解決する必要性が増してきた。従来ロボットは、人間のもっている作業機能を機械に置き換えたものだとも考えられてきた。具体的には、ロボットは人間が持っている「運動する機能」、「感覚（触覚、視覚、聴覚などの五感）」、「考えること（知能）」と、それを連携させる機能を機械に持たせたもので、“人間の機能の代替や機能の拡張を実現したもの”である。これらの技術は、いまのところ人間の代わりに作業したり、障害を克服するために用いられたりするものと考えられている。しかし、将来的に健常者の能力を増進される為に肉体に埋め込まれたりすることになると、倫理的な問題が生じるであろう。このようなロボット技術と倫理に関する問題について、欧州では2012年3月からRoboLawプロジェクト[3]（Regulating Emerging RoboticTechnologies in Europe: Robotics Facing Law and Ethics：FP7-SCIENCE-IN-SOCIETY-2011- 1）で検討が進められている。RoboLawプロジェクトのもっとも重要なアウトプットは、“ロボティクス規制白書”である。これは、欧州委員会に対するガイドラインでもあり、欧州における“ロボット法”のフレームワークとなる。

参考文献

[1] 米スタンフォード大学、次世代自動車の研究拠点「CARS」を設立
http://robot.watch.impress.co.jp/docs/news/20091117_329506.html

[2] RoboEarth
http://www.roboearth.org/cloud_robotics

[3] RoboLaw Project 開始日：2012年3月1日　期間：24ヶ月、予算：1,900万ユーロ、コーディネータ：Erica Palmerini教授（聖アンナ大学Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy）、概要：「ロボット技術、バイオ技術の進展にともない、法的枠組みのどこをどのように変更しなければならないか、という問題に取り組む。技術・法律・規制・哲学、そして人間科学の専門家で構成される。」
http://www.robolaw.eu/

コラム 4-21

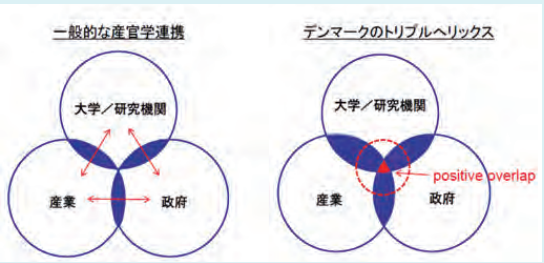
～トリプルヘリックスとデザイン・ドリブン・イノベーションが導くロボットの社会実装～

デンマークでサービスロボットの導入が検討されている主な要因として、日本と同様に高齢社会に伴う労働人口の減少があげられる。社会保障制度が進んでいるデンマークでは、教育、医療、福祉が税金で賄われ、公務員による公共サービスとして提供されている。そして高齢化にともない今後10年以内に20万人近くの公務員が退職し、その結果公共セクターの労働者が不足すると懸念されていることが背景だ。そして2008年以降、政府が主体となりロボットを含めた労働省力化技術の開発支援を推進している。最近では、欧米に加えて日本や韓国などのロボット技術に対する期待が高まっている。日本の企業では、セラピー、リハビリテーション、歩行支援、移動介助、自動排泄処理、コミュニケーションなど多岐に渡るロボットの実証実験が行われている。

では、何故ロボット産業が発展していない北欧のデンマークでこの様な実証が進んでいるのであろうか？日本との違いは何処にあるのか？そもそもデンマーク社会が新しい技術の導入に積極的なことが前提としてあるが、社会実装という観点では、トリプルヘリックスという社会システムが浸透していること、デザイン・ドリブン・イノベーションなど新しい技術を社会に実装する為の方法論が確立されていることに関係していると考えられる。トリプルヘリックスとは、簡単には政府、大学、産業間の連携のことであるが、知識社会において三者間の相互作用を通じて社会全体でイノベーションを起こすことが重要となり、デンマークでは他国に比べて産官学が重層的に関係しながらイノベーション創出を誘発している。

医療や福祉領域においてロボットの様な新しいシステムを開発し導入するには、研究機関の基礎研究から始まり、民間企業による技術開発に加えて、実証実験や現場での導入など、行政の参画と支援が必須であることを考えると有効なシステムであることが分かるであろう。特に日本の様にロボット企業が試作機を作ってから、病院や施設で行う実証実験の条件を行政や各機関と交渉するのとは異なり、トリプルヘリックスでは、ロボット開発の初期段階から、行政（含む病院や福祉施設）、民間企業、研究機関が共同して新しいシステムを開発、実証、導入する為の枠組みを準備し、様々な利害

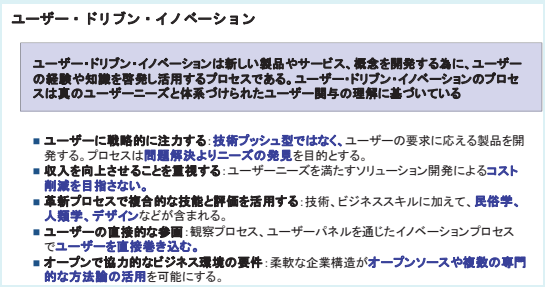
図表1　デンマークのトリプルヘリックス



関係者の調整を行うことが当たり前となっている。その結果新しい技術の開発から実証、そして社会への導入をより効率的に行うことが出来る（図表1）。

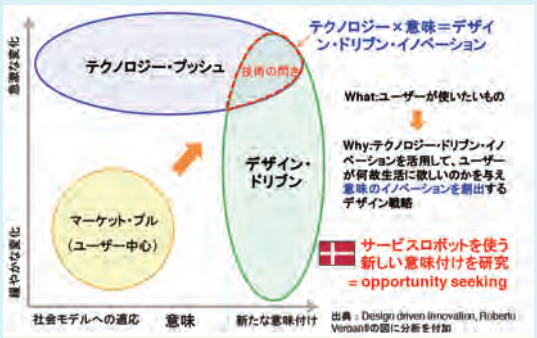
次にデザイン・ドリブン・イノベーションであるが、デンマークではユーザ・ドリブン・イノベーションが有名であり、新しいソリューションを開発する際にユーザを巻き込みながら技術プッシュではなく、問題解決によりニーズを発見する方法が採られていた（図表2）。

図表2　ユーザ・ドリブン・イノベーション



しかし、社会が複雑化しクラウドやビッグデータなどの新しい技術が開発される中、現在ではデザイン・ドリブン・イノベーションの重要性が問われている。ここでは問題解決ではなく、新しい技術に「意味づけ」をすることでイノベーションを創出することが求められている（図表3）。

図表3　デザイン・ドリブン・イノベーション



ロボットなどまだユーザが利用方法を明確に定義付けることが難しい技術の場合、いくらユーザの声を分析しても革新的な製品を開発することは難しい。例えば、携帯電話が普及していなかった80年代初頭に、今のスマートフォンを想像出来ないのと同じことだ。デザイン・ドリブン・イノベーションは、まだ方法論として普及している訳ではなく、また一部の企業は意識せずに同様のアプローチを取り入れている。しかし、重要な点はスマートシティ、IT融合、ビッグデータなどで社会システムがプラットフォーム上に収斂していく過程では、これまでの様に製品単体での開発ではなく、社会システムとの連携やホリスティックな設計が求められることになる。例えば、スタンドアローンのサービスロボットは、将来医療、福祉、年金システム間での連携が前提になるであろうし、且つユーザ視点を取り入れたインタフェースを開発する為には、ロボットの位置づけや意味づけを再定義しながらデザインすることは有効な方法であると考えられる。

こうした点はテクノロジー・イノベーションに傾きがちな日本には、社会実装を実現する上で非常に参考になるアプローチであると思われる。

中島 健祐（デンマーク大使館）

（3）韓国

韓国では、国策による重点投資により、ロボット分野に対する手厚い産業化支援が行われてきた。同時にサムスン電子（ヒューマノイドロボット「Roboray」、軍艦火災消火ロボット「ASH」など）やLG電子（掃除ロボット「HOM-BOT2.0」）を始めとする民間企業も研究開発を推進し、技術開発にとどまらずビジネスに向けて、産官学が一体となって取り組んでいる。

A）韓国の研究開発の取組

2008年3月に韓国は「知能型ロボット開発及び普及促進法」を制定し、「次世代の成長産業である知能型ロボットの開発及び普及に関する基本計画と年度別実行計画を策定し、知能型ロボット産業振興のための政策の策定及び開発等に当る韓国ロボット産業振興院を設立する」ことを定めた。「知能型ロボット開発及び普及促進法」に基づき、2009年に「第1次知能型ロボット基本計画」が策定された。その計画では市場拡大に伴うフェーズごとに主力製品群を定め、国が集中的に支援を行うとしている。サービスロボットの新市場創出型の主力製品群には教育、清掃、監視偵察分野が、技術先導型では医療（手術）、交通/輸送、シルバー分野があげられ、国として支援を行っている。

また、「知能型ロボット開発及び普及促進法」では、知能型ロボットの品質保証機関の設置や保険制度の制定、ベンチャー等のロボット開発企業に投資する知能型ロボット投資会社（ロボットファンド）の創設や、「ロボットランド」などを具体的に定めており、ロボット産業の育成に向けた国の取組を明確に示す内容となっている。

B）ロボットランド

「ロボットランド」とは、日本における「ロボット特区」に類する施策の名称であり、様々な知能型ロボットを活用した施設等の立地地域を指す。「ロボットランド」では「第1次知能型ロボット基本計画」で新市場創出型の主力製品群として指定された、教育、清掃、監視偵察分野などの知能型ロボット技術の実証実験から実際のビジネスにつなげる仕組みづくりを行う。開業は2014年以降になるため、全容は明らかではないが、総事業費6,843億ウォン（約684億円）は、国費、市費、民間投資、外資が出資する。戦略的投資者として韓国LGグループ、POSCON社などの名前があがっている。さらに、同地域に、ロボット技術を持つソウル大、韓国科学技術院（KAIST）等を誘致し、技術インフラを集積したロボット産業振興地域とすることを目指している。

また、「ロボットランド」は、ロボット文化の発祥の地として、ロボット産業と技術、エンターテイメントが調和する都市として計画され、テーマパークには11のライド、7つのアトラクション、8つのショーが用意され、ウォーターパークも計画されている。その他に、ホテル、商業施設、映画館、オフィスビル、ロボット関係の最先端研究所、大学なども計画されている。現在、仁川経済自由区域の青蘿地区と慶尚南道・馬山において造成が進められており、2014年に世界初のロボットを主題としたテーマパークが開業する予定である。

C）知財戦略

ここでは、LG電子が掃除ロボットを日本で直接販売 するなど、ロボット技術開発分野でも日本への追い上げが著しい、韓国のロボット特許に関する動向を述べる。韓国のロボット技術動向やロボット特許動向は、日本のロボット技術開発の方向性を決める指標の一つになる可能性がある。

2009年11月に韓国特許庁と韓国ロボット産業協会は、「知能型ロボット」分野における協力によって特許競争力を高めるため、業務協力（MOU）協定を締結した。 MOU締結に従い、韓国特許庁は、韓国国内の主要なロボット関連企業150社余りが会員となっている韓国ロボット産業協会と、未来の成長分野で付加価置の高い知能型ロボット分野の特許ポートフォリオを作成するために協力し、会員企業の優れた研究開発結果物に対する事業化を支援していく。韓国特許庁が、会員企業らに知能型ロボット分野のコア・基本特許取得のための戦略樹立方法や特許分析のノウハウを伝授し、今後、韓国国内のロボット分野市場が徐々に成長するにしたがって生じるであろうロボット分野における知的財産権紛争に予め対応できるよう協力するという点で、協定締結は非常に大きな意味を持っている。なお、この業務協定には、韓国特許庁が協会の会員企業に知的財産権取得のための実務知識を提供し、審査官と企業の研究員を連結して知的財産権に関する問題が発生した場合、企業が速やかに問題を解決できるようヘルプするホットラインを設置する計画も含まれている。

韓国特許庁は、知能ロボット分野の知的財産権の創出に向け、ロボット専門企業を対象に「知財権中心の技術獲得戦略事業」、「先端部品素材IP-R&D戦略支援事業」を推進し、特許ポートフォリオ を提供することにより、知財権創出戦略を提示する計画を出している。

韓国特許庁は、「知財権中心の技術獲得戦略事業」を民間に展開するために、R&D特許センターに「IP-R&D拡大支援本部」を設け、産・官・学のCEOや教授などで構成された「IP-R&Dリーダーズクラブ」を発足させた。「知財権中心の技術獲得戦略事業」は、研究開発の企画段階から特許情報を積極的に取り入れコア・基幹特許を創出し、従来の研究開発の成果としての特許ではなく、特許攻勢に積極的に対応する方策として、戦略を提示することを目的にしている 。

（4）中国の技術開発動向

中国では科学技術部が発表している2012年5ヶ年国家計画において、ロボット分野に対して以下の方針を定めている。

①国家公安へのサービスロボット適用の促進

セキュリティサービス及び災害救助サービス分野（救助ロボットやテロ対策ロボット等）、エネルギープラントメンテナンス分野（原子力発電所の監視等）、マルチユース可能な技術サービス分野（可変構造型モバイルロボット等）

②経済発展に伴う生活レベル向上に適応したサービスロボットの促進

人工臓器分野（人工眼球、インテリジェントな義足等）、医学的リハビリテーション分野（手術ロボット、精密血管介入ロボット等）、住宅サービス分野（高齢者、障害者の移動やケア等）

③主な科学技術プラットフォーム・研究の促進

高度なバイオニクス分野（ヒューマノイドロボット等）、マイクロ・ナノシステム分野（マイクロまたはナノロボット等）、標準モジュールプラットフォーム分野（標準化されたモジュール、オープンソースのロボット制御ソフトウェアシステム等）

コラム 4-22

～ロボット技術によって変わる看護・介護の働く環境とケアの質～

オーストラリアでは、1998年から看護・介護の腰痛予防対策としてノーリフティングポリシーを制定し、人力による持ち上げを禁止し、看護・介護職に福祉用具や機器の積極的使用を勧めている[1]。その背景には、人力移乗による怪我1件あたりの（腰痛を含む）病院の経済的損失額を、約4万豪ドル（約370万円）と算定し、ビクトリア州健康産業全体での労働災害給付金は、年間約5,400万豪ドル（約50億円）である。直接的費用としては医療費や損失時間分の給与があり、間接費用としては人員補充費、超過勤務手当、スタッフの早い入れ替わりとモラルの低下による新人教育研修費用、事務／法的費用などがあげられていた。健康産業全体での年間労災保険料は4,800万豪ドルで（約45億円）、なんと過半数が看護師の腰痛によるものであったと報告されている[2]。アデレードでも、2002年ノーリフトの導入後の機器の活用によって看護・介護職の腰痛訴え率は減少し、それにともない政府が負担しなければいけない費用もたった2年で66%削減することができたと報告している[3]。現在では、腰痛予防対策必要な機器だけでなく、いかに介護や看護職がプロとして必要な仕事に集中できるように働く環境をITやRTを活用して整えるかがオーストラリアの介護施設や病院では当たり前となっている。アデレードにある老人介護施設では、ケアされる側の自立促進の視点からも、介護者が手をだすのではなく、いかに機器を使用して、サポートが必要な人も自立した生活ができるようにするか。看護や介護の教育を見直し、在宅ケアに移行し

た際には、まず自立の助けとなる福祉用具を検討し、社会参加を促し、それでも人的支援が必要な場合のみ人（看護や介護）が介入できるように学校教育や施設環境も整えている。これは、介護を受ける人の自立を促進するだけでなく、医療や介護に関わる人たちの考え＝「自分たちがいないといけない。」という考え方を変えることが必要であるためと、報告されている。また、福祉用具を活用することは、介護や看護職を導入するよりも在宅ケアにおいての人件費の削減や介護予防にもつながってくるといわれている[4]。

日本でも2013年6月、19年ぶりに厚生労働省が腰痛予防対策指針を改訂し、介護・看護現場での人力による持ち上げを原則禁止した[5]。この背景には、看護・介護職の腰痛による労災申請数が増加したことがある。日本ノーリフト協会の昨年の調査でもこの仕事についてから仕事による腰痛を経験したものは、81％（n＝6,006）であり、20～30代に腰痛訴え率が多いことも介護や看護職の特徴だ[6]。彼らの仕事で、身体負担が多い介助として、人力のみで介助しているベッドから車いすへの移乗や入浴・排泄・おむつ交換などがあげられている。そして、この分野は、現在経産省も開発を進めている非装着型もしくは装着型のロボット（RT）技術が期待される。

オーストラリアの現状を見るとこの看護や介護の働く環境にRT技術を導入することは、リハビリテーション機器を作るよりも大きなマーケットであり、決して非装着型・装着型だけのマーケットではないことがよくわかる。例えば、ベッド低床にもなり高さもしっかり上がる。もしくは座位をとることができるベッドが導入される[7]（**図表1**）。リフトも家具調で一見するとわからない（**図表2**）。ベッドを押す機器ガザンダ（**図表3**）。

あるいは、日本では介護や看護職が汚物室で一生懸命洗っているベッド上便器（**図表4**）や尿器も、機械ができるところは機械に任せて、介護や看護しかできないことに時間が使えるように・・・と導入が進んでいた洗浄機器（**図表5**）。ベッド上

図表1　ヒルロム社の介護ベッド[7]

図表2　リフトも家具調で一見するとわからない

便器（**図表4**）を使用後そのまま洗浄機器（**図表5**）に捨てれば、水で攪拌し、トイレットペーパーのように下水に流すことができる。

日本の看護や介護が提供している移乗介助方法は、人力による持ち上げを行っているため、その人の技術や体力に頼るため人（プロ）によって方法はまったく違う。これは、ケアされる側や管理者から見ると介助者によって変わる介助ほど恐ろしいものはない。閉ざされた居室やトイレでの移乗介助において、動かす人の技術や知識だけに頼ることをやめなければいけない。RT技術が日本の看護や介護に導入されることで、ハートを持ったプロがハードを使いこなし、機器を活用することで、本当に人の手のいるところに時間を使うことができるようになる。RT技術の活用は、もう１度看護や介護の立ち位置を見直すきっかけになると感じている。ただし・・・日本でRT技術を開発・改良する際には、看護や介護現場を選んで意見交換しなければ、現場のその場限りの思いつきの要求通りにRTを作っても、現場は何かしら条件を出し、結局いつまでたっても現場でRTは活用されないということに陥る。オーストラリア看護連盟（2002）の調査報告があったがノーリフティングポリシー（方針や指針）が大切なのではなく、ノーリフトプログラム＊の導入（現場で働くプロとしての意識を変えるためのプログラム）がオーストラリアの介護や看護に根付いていた文化を変えることで、いまや日本のRTやIT技術を待ち望む人たちへと変えたのである。

図表３　ベッドを押す機器ガザンダ

図表４　簡易便器（ベッド上使用再生紙を使用した便器）

図表５　洗浄機器

＊ノーリフトプログラムとは、1998年よりオーストラリア看護連盟が介護や看護に合った腰痛予防対策教育プログラムを作成し、「患者自身が自力で動くことを奨励し、

自立性を保つことは何よりも大切である。患者には、可能な限り自分の体重を自分で支えてもらえるような自力による移動を奨励すべきである。」と、5部にわかれたプログラムを発表した。日本においても2009年度から日本ノーリフト協会がオーストラリア看護連盟のノーリフトプログラムを導入し（2013年度から改訂版を使用）日本の施設や病院への介入を行っている。

参考文献

[1] Australian Nursing Federation（Victorian Branch）,No Lifting Policy , reviewed 2008.
[2] The Policy and Strategic Projects Division Victorian Government Department of Human Services, Back　Injury Prevention Project in Victoria,　Melbourne Victoria October 2002.
[3] Australian Nursing Federation（SA Branch）,　No lift No injury training Program, Adelaide 2002.
[4] ACH Group in Adelaide, Viewed 4.Dec. 2013 http://www.ach.org.au/vita
[5] 職場における腰痛予防対策指針及び解説、厚生労働省,2013年 www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000034et4-att/2r98520000034mtc_1.pdf
[6] 職場における腰痛予防対策指針及び解説 - 厚生労働省 http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000034et4-att/2r98520000034mtc_1.pdf
[7] ヒルロム社 Vis-a-Vis-Bedhttp://www.hill-rom.com/usa/Products/Category/Hospital-Beds/Volker-3082-Vis-a-Vis-Bed/

保田 淳子（日本ノーリフト協会）

第4章執筆者

ワーキングメンバー本文執筆者

石黒　周　　株式会社 MOT ソリューション
伊藤　健三　　株式会社ニチイ学館
北垣　和彦　　パナソニック株式会社 モノづくり本部 生産技術開発センター 企画グループ
廣瀬　通孝　　東京大学大学院 情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻
光石　衛　　東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻
西田　佳史　　独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター
淺間　一　　東京大学 大学院工学系研究科精密工学専攻

萩田 紀博　ATR社会メディア総合研究所長 知能ロボティクス研究所
成田 雅彦　産業技術大学院大学 産業技術研究科情報アーキテクチャ専攻
真野　敦史　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術開発推進部 技術開発企画課

本文執筆者

Abderrahmane Kheddar　独立行政法人産業技術総合研究所知能システム研究部門 AIST-CNRS ロボット工学連携研究体（CNRS-AIST JRL <Joint Robotics Laboratory>, UMI 3218/CRT）
秋元　大　セグウェイジャパン株式会社
浅田　稔　大阪大学 大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻
内山　勝　東北大学 大学院工学研究科 機械システムデザイン工学専攻
鴨志田　英樹　株式会社ロボット科学教育
木村　哲也　長岡技術科学大学 大学院技術経営研究科
金広　文男　独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門 ヒューマノイド研究グループ
柴田　崇徳　独立行政法人産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門
高橋　智隆　株式会社ロボ・ガレージ
谷口　恒　株式会社ゼットエムピー
橋本　秀紀　中央大学 理工学部 電気電子情報通信工学科
松本　治　独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門 スマートモビリティ研究グループ
持丸　正明　独立行政法人産業技術総合研究所サービス工学研究センター
大和　信夫　ヴイストン株式会社

コラム執筆者

4-1
陳　隆明　社会福祉法人　兵庫県社会福祉事業団　兵庫県立リハビリテーション中央病院
4-2
伊藤　正明　株式会社カワムラサイクル
4-3
伊藤　健三　株式会社ニチイ学館
4-4
櫻内　昌雄　住友商事株式会社　ビル事業部
4-5
小松崎　常夫　セコム株式会社 IS研究所

4-6
谷口　恒　　株式会社ゼットエムピー
4-7
真野　敦史　　独立行政法人新エネルギー･産業技術総合開発機構 技術開発推進部 技術開発企画課
4-8
真野　敦史　　独立行政法人新エネルギー･産業技術総合開発機構 技術開発推進部 技術開発企画課
4-9
先川原　正浩　　千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター
4-10
浅田　稔　　大阪大学 大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻
4-11
浅海　和雄　　みずほ情報総研株式会社　サイエンスソリューション部
4-12
佐藤　知正　　東京大学 フューチャーセンター推進機構 RTイノベーションコンソーシアム
4-13
西田　佳史　　独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター
4-14
山海　嘉之　　筑波大学大学院 システム情報工学研究科 サイバニクス研究センター／CYBERDYNE株式会社
4-15
濱田　彰一　　一般社団法人日本ロボット工業会
4-16
前場　大輔　　公益財団法人大阪市都市型産業振興センター　新産業創造推進室
4-17
小林　賢一　　かわさき神奈川ロボットビジネス協議会（NPO法人ロボティック普及促進センター）
4-18
高原　昇　　神戸市産業振興局経済部工業課
4-19
大久保　剛史　　つくば市　つくば市国際戦略総合特区推進部　科学技術振興課
4-20
林　英雄　　ロボット大賞 運営事務局 株式会社日刊工業新聞社 業務局イベント事業部
4-21
中島　健佑　　デンマーク大使館
4-22
保田　淳子　　一般社団法人日本ノーリフト協会